



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DETEKSI DAN PENENTUAN KATEGORI BESARAN  
ARCING PADA HUBUNG SINGKAT TEGANGAN  
RENDAH**

Muhammad Wildan Arinal Haq  
NRP 2213100043

Dosen Pembimbing  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D  
Daniar Fahmi ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DETECTION AND DETERMINATION CATEGORY OF  
ARCING IN LOW VOLTAGE SHORT CIRCUIT**

Muhammad Wildan Arinal Haq  
NRP 2213100043

Advisor  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D  
Danar Fahmi, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Melalui surat pernyataan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Deteksi dan Penentuan Kategori Besaran Arcing pada Hubung Singkat Tegangan Rendah**” adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan menggunakan bahasa yang baik dan benar sesuai dengan ejaan yang disempurnakan serta tidak menimbulkan unsur sara.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada halaman daftar pustaka. Apabila dikemudian hari surat pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juni 2017

**Muhammad Wildan A H**  
NRP. 2213100043

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

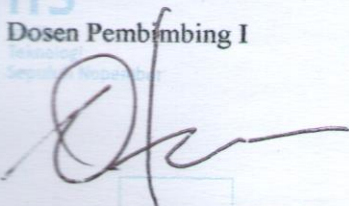
**DETEKSI DAN PENENTUAN KATEGORI BESARAN ARCING  
PADA HUBUNG SINGKAT TEGANGAN RENDAH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

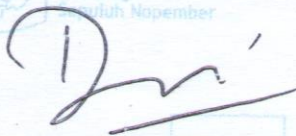
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dimas Anton Asfani ST., MT., Ph.D  
NIP 19810905 200501 1 002

Dosen Pembimbing II



Daniar Fahmi, ST., MT.  
NIP 19890925 201404 1 002



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DETEKSI DAN PENENTUAN KATEGORI BESARAN ARCING PADA HUBUNG SINGKAT TEGANGAN RENDAH

Nama : Muhammad Wildan Arinal Haq  
NRP : 2213100043  
Dosen Pembimbing 1 : Dimas Anton Asfani, ST.,MT.,Ph.D  
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi, ST.,MT.

## ABSTRAK

Gangguan hubung singkat tegangan rendah menimbulkan fenomena busur api listrik (*arcing*) yang dapat memicu terjadinya kebakaran apabila langsung bersentuhan dengan benda yang mudah terbakar. Fenomena busur api listrik (*arcing*) tersebut terjadi karena pengaman yang dipasang (*Miniature Circuit Breaker*) gagal mendeteksi adanya gangguan hubung singkat yang berlangsung sangat cepat. Tugas akhir ini akan melakukan percobaan pendeteksian *arcing* hubung singkat pada tegangan rendah dengan melihat nilai arus *arcing* hubung singkat yang naik secara signifikan pada saat terjadi gangguan hubung singkat, selanjutnya nilai arus *arcing* yang masuk akan ditrasformasikan menggunakan transformasi *wavelet* untuk mempermudah melakukan pengamatan karakteristik arus *arcing*. Terdapat 2 *threshold* (batas) yang harus dipenuhi agar dapat dikategorikan *arcing* yang pertama nilai arus HF maksimum adalah 2 A dan jumlah titik gangguan sebanyak 7. Arus *arcing* hubung singkat yang terdeteksi akan dilakukan penentuan kategori berdasarkan jumlah serabut yang dihubung singkatkan. Parameter-parameter yang diamati pada tiap jumlah serabut terjadi hubung singkat adalah arus HF maksimum, durasi dan energi pada saat *arcing* hubung singkat terdeteksi. *Arcing* hubung singkat akan dikategorikan sesuai dengan parameter-parameter tersebut dengan menggunakan algoritma *artificial neural network* (ANN). Penentuan kategori besaran *arcing* hubung singkat menggunakan *artificial neural network* mempunyai akurasi sebesar 90%.

**Kata kunci:** Busur Api Listrik Tegangan Rendah, Transformasi *Wavelet*, *Threshold* arus HF, *Threshold* titik gangguan, *artificial neural network*



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DETECTION AND DETERMINATION CATEGORY OF ARCING IN LOW VOLTAGE SHORT CIRCUIT

**Name** : Muhammad Wildan Arinal Haq  
**NRP** : 2213100043  
**Advisor 1** : Dimas Anton Asfani, ST.,MT.,Ph.D  
**Advisor 2** : Daniar Fahmi, ST.,MT

## ***ABSTRACT***

*Short circuit fault in low voltage is causing arcing phenomenon that able to trigger fire case when contact with flammable material directly. Arcing occurs when protection equipment (Miniature Circuit Breaker) fail to detect short circuit fault because it occurs very fast. This Final Project is doing experiment short circuit arcing detection in low voltage installation and observe the value of short circuit arcing current which increase significantly when short circuit is occurred. The value of arcing current will transform using wavelet transformation for observe the arcing current characteristic easier. There are 2 thresholds must be fulfilled in order to be categorized arcing. First is the value of maximum arcing current high frequency is 2 A and the number of fault point is 7. Short circuit arcing current detected will categorized based on the number of filament shorted circuit. Parameters observed on each number of filament shorted circuit are maximum current high frequency, duration and energy when short circuit arcing detected. Short circuit arcing will categorize based on parameters above using artificial neural network algorithm Level accuracy of.determination category of arcing in low voltage short circuit use artificial neural network algorithm is 90 %*

**Keyword:** *Low Voltage arcing, Wavelet Transform, High Frequency current threshold, Point of Fault Threshold, Artificial Neural Network*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa saya panjatkan kehadirat Illahi Rabbi Allah SWT. Karena atas berkah limpaham rahmatnya, saya dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul **“Deteksi dan Penentuan Besaran Kategori Arcing pada Hubung Singkat Tegangan Rendah”**. Buku ini saya persembahkan khususnya untuk kedua orang tua saya dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. Qulil Haqqa Walau Kaana Murran. Katakan Kebenaran Walau itu Pahit. Saya menyadari bahwa penulisan buku Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesempatan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan
2. Bapak Dimas Anton Asfani dan Bapak Daniar Fahmi selaku dosen pembimbing pada Tugas Akhir ini
3. Bapak I Made Yulistya Negara selaku kepala Laboratorium Tegangan Tinggi atas peminjaman peralatan laboratorium untuk pengujian Tugas Akhir ini
4. Kedua orang tua dan kakak saya yang telah mendoakan dan memberikan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir ini
5. Keluarga besar E53 dan Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah memberikan dukungan dan doa
6. *Partner* kerja sama Dwika Widyantama
7. Azmi Wicaksono dan Dwita Midho Gumelar yang telah banyak membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini
8. Dan semua orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Saya mengucapkan terima kasih atas doa dan dukungannya dalam menyelesaikan buku Tugas Akhir ini. Semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan sebagai bahan menuntut ilmu. Akhir kata saya mengucapkan mohon maaf apabila ada kesalahan selama ini.

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Wildan A H

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Relevansi .....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI .....	7
2.1. Hubungan Singkat pada Tegangan Rendah.....	7
2.2. Busur Api Listrik pada Tegangan Rendah.....	8
2.3. Dampak Negatif Busur Api Listrik .....	9
2.4. Transformasi Wavelet .....	10
2.4.1. Pengertian.....	10
2.4.2. Transformasi Wavelet Diskrit.....	11
2.5. Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban Resistif .....	12
2.6. Metode Pendeteksian Menggunakan Wavelet dan LabView	13
2.7. Artificial Neural Network.....	13
2.8. Metode Penentuan Kategori Besaran Arcing Menggunakan Artificial Neural Network.....	14
2.9. Mean Square Error (MSE).....	14
BAB 3 PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	15
3.1. Perancangan Alat Eksperimen .....	15
3.1.1. Beban Lampu sebanyak 10 Buah dengan Daya 100 Watt	16
3.1.2. Arc Chamber Akrilik.....	17

3.1.3.	Kabel Konduktor Serabut NYMHY 2x1.5mm <sup>2</sup> .....	17
3.1.4.	Current Transformer .....	17
3.1.5.	Automatic Fuse (Sekering Otomatis) & Fuse Box .....	18
3.1.6.	Miniature Circuit Breaker (MCB).....	18
3.1.7.	Perekam Arus National Instrument (NI) 9246.....	18
3.1.8.	Software LabView .....	19
3.2.	Pengambilan Data.....	21
3.3.	Pengolahan Data.....	24
3.3.1.	DIAdem .....	25
3.3.2.	Matlab (Matrix Laboratory) .....	26
3.3.3.	Lazarus.....	28
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS DATA.....	29
4.1.	Mekanisme Kondisi Arcing Pada Tegangan Rendah.....	29
4.1.1.	Pengolahan Data .....	30
4.2.	Mekanisme Percobaan Karakteristik Arus pada Kondisi Arcing Hubung Singkat .....	30
4.3.	Grafik Asli Sinyal Kondisi Arcing .....	31
4.4.	Analisa Data Kondisi Arcing Hubung Singkat Pada Tegangan Rendah .....	31
4.4.1.	Pengolahan Data dengan DWT.....	32
4.4.2.	Arus Maksimum HF, Durasi dan Energi .....	33
4.4.3.	Analisa Persebaran Data.....	33
4.4.4.	Analisa Kondisi Arcing Pada Program Deteksi Arcing .....	35
4.5.	Penentuan Besaran Kategori Arcing Hubung Singkat .....	38
4.5.1.	Training Data Algoritma Artificial Neural Network... ..	39
4.5.2.	Testing Data artificial neural network.....	44
4.6.	Perbandingan Beban Linier dan Beban Nonlinier .....	45
4.6.1.	Arus Asli dan High Frequency Beban Linier dan Nonlinier Keadaan Normal .....	45
4.6.2.	Arus Asli dan High Frequency Beban Linier dan Nonlinier Keadaan Arcing .....	47
BAB 5	PENUTUP.....	49
5.1.	Kesimpulan .....	49
5.2.	Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA	.....	51
LAMPIRAN	.....	53
RIWAYAT HIDUP PENULIS	.....	57

## **TABLE OF CONTENT**

TITLE	
STATEMENT SHEET	
APPROVAL SHEET	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
FOREWORD.....	v
TABLE OF CONTENT.....	vii
LIST OF FIGURES.....	ix
LIST OF TABLES.....	xi
CHAPTER 1 - PREFACE.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1. Background.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2. Problem.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3. Purpose.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4. Limitation Problem.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5. Methodology.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.6. Relevance.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.7. Systematic of Report Writing ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
CHAPTER 2 – BASIC THEORY.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1. Short Circuit in Low Voltage..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2. Arcing Fault in Low Voltage ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. Negative effect of Arcing Fault	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4. Wavelet Transformation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.1. Definition.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.2. Wavelet Discrete Transformation.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5. Arcing Characteristic on Resistive Load.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6. Detection Method Using Wavelet and LabView.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7. Artificial Neural Network.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8. Determination Category Arcing Method Using Artificial Neural Network.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.9. Mean Square Error (MSE).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



CHAPTER 3 – DESIGN OF EXPERIMENTAL DEVICE, RETRIEVAL AND PROCESSING DATA .....**Error! Bookmark not defined.**

- 3.1. The Design of Experimental Device ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.1. 1000 Watt Light Load ....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.2. Acrylic Arc Chamber .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.3. Conductor Cables Fibers NYMHY 2x1.5mm<sup>2</sup> .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.4. Current Transformer .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.5. Automatic Fuse & Fuse Box ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.6. Miniature Circuit Breaker (MCB) **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.7. Current Recorder National Instrument (NI) 9246 **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.8. Software LabView .....**Error! Bookmark not defined.**
- 3.2. Retrieval Data .....**Error! Bookmark not defined.**
- 3.3. Processing Data .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.3.1. DIAdem .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 3.3.2. Matlab (Matrix Laboratory) ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.3.3. Lazarus .....**Error! Bookmark not defined.**

CHAPTER 4 – RESULT AND DATA ANALYSIS... **Error! Bookmark not defined.**

- 4.1. Arcing Condition Mechanism in Low Voltage .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.1.1. Data Processing .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.2. Experiment Current Characteristic on Short Circuit Arcing Condition in Low Voltage .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.3. Arcing Condition Real Graph Signal .... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.4. Data Analysis Short Circuit Arcing Condition in Low Voltage .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.4.1. Data Processing Using DWT ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 4.4.2. HF Maximum Current, Duration, and Energy .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.4.3. Data Distribution Analysis ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.4.4.	<i>Arcing Condition Analysis on Arcing Detection Program</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.	<i>Determination Category Short Circuit Arcing</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.1.	<i>Data Training Artificial Neural Network Algorithm</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.2.	<i>Data Tesing artificial neural network</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6.1.	<i>Real and High Frequency Linier Load anf Nonlinier Load Normal condition</i> .....	45
4.6.2	<i>Real and High Frequency Linier Load anf Nonlinier Load Normal condition</i> .....	47
CHAPTER 5 - CLOSING.....		49
5.1.	<i>Conclusion</i> .....	49
5.2.	<i>Advice</i> .....	49
BIBLIOGRAPHY.....		51
ATTACHMENT.....		53
BIOGRAPHY .....		57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arcflash pada kabel (sumber: <a href="http://www.engineersjournal.ie/">http://www.engineersjournal.ie/</a> ).....	7
Gambar 2.2 Kabel listrik yang mengalami kerusakan (sumber: <a href="http://www.news.tridynamika.com/">http://www.news.tridynamika.com/</a> ) .....	9
Gambar 2.3 Instalasi listrik tegangan rendah yang tidak rapi (Sumber : <a href="http://3.bp.blogspot.com/">http://3.bp.blogspot.com/</a> ).....	10
Gambar 2.4 Diagram komposisi TWD .....	11
Gambar 2.5 Karakteristik arus busr api listrik seri pada beban resistif..	12
Gambar 3.1 Skema alat eksperimen busur api listrik tegangan rendah..	15
Gambar 3.2 Peralatan penelitian busur api listrik tegangan rendah.....	16

Gambar 3.3 Rangkaian beban lampu .....	16
Gambar 3.4 Tampilan editor panel dengan block diagram pada LabVIEW .....	20
Gambar 3.5 User Interface deteksi dan monitoring arcng pada LabVIEW .....	21
Gambar 3.6 Eksperimen 1 serabut .....	22
Gambar 3.7 Eksperimen 3 serabut .....	22
Gambar 3.8 Eksperimen 6 serabut .....	22
Gambar 3.9 Eksperimen 12 serabut .....	23
Gambar 3.10 Eksperimen 24 serabut .....	23
Gambar 3.11 Eksperimen hubung singkat menggunakan motor DC ....	24
Gambar 3.12 Pengolahan data menggunakan toolbar view DIAdem....	25
Gambar 3.13 Tampilan data report data menggunakan toolbar report DIAdem .....	26
Gambar 3.14 Proses training neural network pada Matlab.....	27
Gambar 3.15 Graphic User Interface Kategori Arcing Hubung Singkat	28
Gambar 4.1 Mekanisme pengambilan data arcng hubung singkat.....	29
Gambar 4.2 Sinyal asli percobaan arcng hubung singkat tegangan rendah .....	31
Gambar 4.3. Hasil transformasi wavelet pada kondisi arcng 24 serabut, .....	32
Gambar 4.4 Grafik persebaran data arus HF arcng hubung singkat....	34
Gambar 4.5 Grafik persebaran data durasi arcng hubung singkat.....	34
Gambar 4.6 Grafik persebaran data energi arcng hubung singkat .....	35
Gambar 4.7 Sinyal Arus Arcing 1 Serabut .....	36
Gambar 4.8 Sinyal Arus Arcing 3 Serabut .....	36
Gambar 4.9 Sinyal Arus Arcing 6 Serabut .....	37
Gambar 4.10 Sinyal Arus Arcing 12 Serabut .....	37
Gambar 4.11 Sinyal Arus Arcing 24 Serabut .....	37
Gambar 4.12 Perbandingan data aktual dengan neural network .....	43
Gambar 4.13 Nilai error artificial neural network.....	43
Gambar 4.14 Waveform arus asli beban linier keadaan normal .....	45
Gambar 4.15. Waveform arus asli beban nonlinier keadaan normal ....	45
Gambar 4.16 Waveform arus HF beban linier keadaan normal .....	46
Gambar 4.17 Waveform arus HF beban nonlinier keadaan normal .....	46
Gambar 4.18 Waveform arus asli beban linier keadaan arcng .....	47
Gambar 4.19 Waveform arus asli beban nonlinier keadaan arcng .....	47
Gambar 4.20 Waveform arus HF kondisi arcng beban linier .....	48
Gambar 4.21 Waveform arus HF kondisi arcng beban nonlinier.....	48



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi CT .....	18
Tabel 3.2 Spesifikasi NI 9426 .....	19
Tabel 4.1 Jumlah data percobaan deteksi arcing.....	31
Tabel 4.2 Data arus HF. Jumlah Titik Gangguan, Durasi, dan Energi arcing .....	33
Tabel 4.3 Pengukuran kategori arcing hubung singkat .....	38
Tabel 4.4 Parameter Pelatihan pada artificial neural network .....	39
Tabel 4.5 Data Training ANN .....	39
Tabel 4.6 Testing Data .....	44

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Menurut data Perusahaan Listrik Negara (PLN) ratio elektrifikasi di Indonesia mencapai 63,5% pada tahun 2013, kemudian setiap tahunnya bertambah 4-5% sehingga pada tahun 2016 ratio elektrifikasi menjadi 84,0%. Seiring dengan kenaikan kebutuhan listrik di Indonesia tingkat kecelakaan yang diakibatkan oleh listrik di Indonesia juga ikut meningkat setiap tahunnya. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana dari akhir tahun 2011 hingga pertengahan tahun 2015 ada 979 kasus kebakaran yang ada di Indonesia dengan 431 yang disebabkan oleh korsleting listrik. Penyebab kecelakaan listrik salah satunya disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat adalah peristiwa tidak normal ketika penghantar bertegangan tersambung langsung (bersentuhan) dengan penghantar netral. Arus listrik hubung singkat melebihi kemampuan bahan penghantar arus listrik maka akan menyebabkan rusaknya peralatan dan lebih parah lagi kebakaran. Oleh karena itu gangguan hubung singkat harus segera diamankan.

Kebakaran yang disebabkan oleh hubung singkat yang semakin sering terjadi salah satu penyebabnya dikarenakan peralatan pengaman yang seharusnya dapat memutus arus hubung singkat gagal mendeteksi adanya gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan terjadinya fenomena busur api listrik (*arcing*). Busur api listrik (*arcing*) disebabkan adanya loncatan elektron pada dua konduktor yang memiliki polaritas yang berbeda dan saling bersentuhan. Fenomena busur api listrik (*arcing*) merupakan fenomena yang berbahaya karena dapat menyebabkan kebakaran apabila berdekatan dengan peralatan atau benda yang mudah terbakar. Sebab itu perlu dilakukan pendeteksian dan penentuan kategori besaran busur api listrik (*arcing*).

Analisa busur api listrik (*arcing*) yang sesuai dengan besaran busur api listrik (*arcing*) hubung singkat tegangan rendah yang terjadi perlu dilakukan agar dapat diketahui karakteristik-



karakteristik busur api listrik (*arcing*) hubung singkat yang terjadi sehingga dapat menghindari bahaya yang diakibatkan oleh fenomena busur api listrik (*arcing*).

Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) telah banyak diterapkan pada banyak permasalahan sebagai contoh permasalahan : lalu lintas, komunikasi, dan rekayasa transportasi. Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) juga digunakan untuk pemodelan hubungan antara tingkat keparahan luka yang diderita pengemudi dengan penyebab kecelakaan pada bidang kecelakaan lalu lintas. Oleh sebab itu penentuan kategori besaran busur api listrik (*arcing*) hubung singkat pada tugas akhir ini akan menggunakan bantuan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN).

Tugas akhir ini akan membahas deteksi dan pengukuran tingkat besaran busur api listrik (*arcing*) hubung singkat dengan menggunakan metode *artificial neural network* yang tersedia pada *software* MATLAB. Parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran kategori besaran busur api listrik (*arcing*) hubung singkat tegangan rendah antara lain : durasi *arcing*, arus *arcing*, energi pada saat *arcing*, dan jumlah serabut. Tugas akhir ini berfokus untuk menganalisis parameter-parameter tersebut menggunakan *artificial neural network* sehingga didapatkan pengkategorian busur api listrik (*arcing*).

## **1.2. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam proposal tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana metode yang digunakan dapat menentukan kategori besaran *arcing* ?
2. Seberapa efektif metode yang digunakan dalam mengkategorikan besaran *arcing* hubung singkat yang terdeteksi ?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Penggunaan metode *artificial neural network* menentukan kategori besaran *arcing* hubung singkat tegangan rendah yang terdeteksi dalam bentuk pengkategorian (Kategori 1 adalah kategori dengan keparahan paling *arcing* rendah sampai Kategori 3 sebagai kategori dengan keparahan *arcing* tinggi).

2. Mengetahui keefektifan ANN untuk mengetahui kategori arcing hubung singkat.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Busur api listrik (*arcing*) yang dianalisa hanya arcing pada hubung singkat tegangan rendah.
2. Penentuan kategori besaran *arcing* berdasarkan tingkat energi dan jumlah serabut pada saat *arcing*.
3. Menggunakan algoritma artificial neural network untuk mengolah parameter *arcing*.

#### **1.5. Metodologi**

Penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur  
terdapat beberapa kegiatan yaitu pengumpulan referensi berupa buku ataupun jurnal untuk mencari pengertian, tahapan-tahapan yang mendukung dan berhubungan dengan eksperimen tugas akhir ini. Berikut kata kunci yang penting dalam eksperimen ini adalah fenomena arcflash, arus hubung singkat, metode akusisi data, dan artificial neural network. Literatur-literatur yang sesuai dengan kata kunci akan dikutip sebagian isinya sebagai pendukung dalam eksperimen ini.
2. Pengumpulan Parameter-Parameter *Arcing* Hubung Singkat yang Terdeksi  
Pada tahapan awal tugas akhir ini adalah mengumpulkan parameter-parameter arcing hubung singkat yang terjadi. Parameter-parameter arcing hubung singkat yang terjadi ini sebagai input dalam proses penentuan kategori besaran arcing yang terjadi.
3. Pembuatan Program Metode *Artificial Neural Network*  
Selanjutnya pembuatan program metode artificial neural network sebagai media pengolah parameter-parameter arcing hubung singkat yang terjadi, untuk menentukan kategori besaran arcing hubung singkat
4. Penginputan dan Pemrosesan Parameter *Arcing* hubung singkat dengan *Artificial Neural Network*  
Setelah algoritma artificial neural network selesai input parameter-parameter arcing hubung singkat. Selanjutnya setelah semua

parameter arcing hubung singkat selesai diinputkan, jalankan algoritma artificial neural network untuk memproses parameter-parameter arcing.

5. Evaluasi Hasil dari Metode *Artificial Neural Network*

Selesai proses running algoritma artificial neural network, output hasil yang didapat dievaluasi apakah sudah sesuai dengan standar yang digunakan, apabila sudah sesuai dapat dilanjutkan ke tahapan selanjutnya tetapi apabila belum sesuai ulangi pembuatan program artificial neural network.

6. Analisa Penentuan Kategori Besaran *Arcing*

Setelah output algoritma artificial neural network sesuai dengan standar yang digunakan, Analisa penentuan kategori besaran arcing hubung singkat yang terjadi

## 1.6. Relevansi

Penelitian ini bermanfaat untuk mengkategorikan besaran arcing pada hubung singkat tegangan rendah sehingga dapat ditentukan karakteristik pengamanan yang tepat untuk digunakan

## 1.7. Sistematika Penulisan

Pembahasan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima bab, hal ini dilakukan agar memudahkan dalam pembahasan.

Bab pertama akan menjelaskan pendahuluan yang terdiri dari pembahasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi penulisan

Bab kedua akan menerangkan tentang teori-teori yang digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yaitu seperti : fenomena *arcflash*, arus hubung singkat, metode akusisi data, dan *artificial neural network*.

Bab ketiga akan membahas tentang metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Metodologi yang dibahas antara lain perancangan program, metode pengambilan, metode pengolahan data dan metode penampilan data.

Bab keempat akan menceritakan hasil percobaan yang telah dilakukan dan melakukan analisa hasil percobaan sehingga dapat diketahui kategori besaran *arcing* hubung singkat yang terjadi dan karakteristik-karakteristik *arcing* hubung singkat pada setiap kategori.

Bab kelima merupakan kesimpulan yang berasal dari analisa data pada percobaan dan saran dari studi yang telah dilakukan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1. Hubung Singkat pada Tegangan Rendah

Listrik adalah kebutuhan yang sangat diperlukan dalam melakukan aktifitas ataupun kegiatan sehari-hari. Penggunaan energi listrik harus dilengkapi dengan peralatan pengaman yang mencegah terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh kesalahan atau kerusakan listrik. MCB (*Miniatur Circuit Breaker*) adalah salah satu contoh alat pengaman listrik yang digunakan pada instalasi listrik tegangan rendah, yang berfungsi mengamankan instalasi listrik bila terjadi kerusakan listrik seperti *overload*, *short circuit*, dan arus bocor. Cara kerja peralatan pengaman dalam mendeteksi gangguan instalasi listrik (*overload* dan *short-circuit*) adalah dengan membandingkan perbedaan arus yang terukur pada konduktor fasa dan konduktor netral dengan nilai batas tertentu yang disebut batas trip. Sehingga apabila terjadi gangguan instalasi listrik yang melebihi nilai batas trip maka peralatan pengaman akan otomatis memutus sumber listrik sehingga tidak terjadi kecelakaan listrik.

*Arcing Fault* merupakan busur api listrik yang disebabkan oleh dua permukaan konduktor yang berbeda potensial saling bersentuhan. Fenomena ini terjadi akibat gangguan listrik hubung singkat. Pada *arcing fault* terjadi lompatan arus melewati sela antara kedua kabel konduktor, percikan arus tersebut kemudian mengionisasi udara di sekitar dan menyebabkan udara disekitar menjadi konduktif sehingga terbentuklah busur api listrik [1] seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1.



**Gambar 2.1** *Arcflash* pada kabel (sumber: <http://www.engineersjournal.ie/>)

*National Fire Protection Association* (NFPA) menyatakan *Arcflash* adalah fenomena pelepasan energi panas dan cahaya dari proses ionisasi (perbanyakan elektro) yang terjadi di udara dari sebuah bahan material [2]. Fenomena *arcflash* dapat menimbulkan bahaya seperti menimbulkan luka bakar apabila terkena kulit, apabila *arcflash* bersentuhan dengan material yang mudah terbakar seperti kertas, kayu, plastic akan menyebabkan kebakaran sehingga membuat kerugian yang sangat besar,

## **2.2. Busur Api Listrik pada Tegangan Rendah**

Busur api listrik (*arcing*) disebabkan adanya loncatan elektron pada dua konduktor yang memiliki polaritas berbeda dan saling bersentuhan [3]. Penyebab busur api listrik yang lain adalah apabila isolasi yang melindungi suatu bagian konduktor bertegangan rusak sehingga bagian tersebut menyentuh bagian konduktor lain dengan potensial yang berbeda. Penyebab kerusakan isolasi dapat dibagi menjadi dua yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari dalam isolasi tersebut, contoh gangguan internal adalah penuaan umur kabel dan bahan isolasi yang menyebabkan peralatan mudah rusak dan rapuh sehingga terjadi kerusakan. Gangguan eksternal adalah gangguan yang berasal dari luar (lingkungan) sekitar yang menyebabkan kerusakan bahan isolasi, contoh gangguan eksternal seperti gigitan hewan pengerat yang menyebabkan kabel dan bahan isolasi rusak. Kerusakan isolasi yang disebabkan oleh gangguan internal dan gangguan eksternal menyebabkan arus fasa dapat keluar dari isolator dan bersentuhan dengan kabel yang lain atau dengan konduktor lain (netral) sehingga menyebabkan gangguan hubung singkat.

Instalasi tegangan rendah umumnya menggunakan 2 jenis kabel yaitu kabel konduktor tunggal dan kabel konduktor serabut. Instalasi rumah tangga lebih banyak menggunakan kabel konduktor serabut dikarenakan harga kabel konduktor serabut yang lebih murah. Tetapi kabel konduktor serabut mempunyai kekurangan yaitu tahanan impedansi yang kecil, kemampuan isolasi yang kurang baik dan kabel tidak dapat menahan panas yang diakibatkan oleh nilai arus yang besar melewati kabel sehingga menimbulkan busur api listrik dan membakar isolasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Kabel listrik yang mengalami kerusakan (sumber: <http://www.news.tridynamika.com/>)

Kabel konduktor serabut yang digunakan pada instalasi listrik tegangan rendah mempunyai ukuran luas penampang (diameter) yang berbeda-beda dari ukuran diameter 0,5 mm<sup>2</sup> hingga 2,5 mm<sup>2</sup>. Luas penampang (diameter) berpengaruh pada besarnya arus yang dapat mengalir pada kabel, hal ini dipengaruhi oleh nilai hambatan pada kabel [4]. Semakin besar luas penampang (diameter) maka nilai resistansi kabel akan semakin kecil sehingga arus nominal beban yang dapat ditanggung oleh kabel akan semakin besar. Instalasi listrik tegangan rendah 220V/380V umumnya menggunakan kabel konduktor serabut dengan luas penampang (diameter) 1,5mm<sup>2</sup> dan nilai arus yang lewat (dapat ditahan) pada kabel adalah maksimal 10 A. Apabila terjadi gangguan hubung singkat sehingga menyebabkan munculnya fenomena busur api listrik (*arcing*), yang mempunyai nilai arus yang sangat tinggi dan melebihi arus maksimal yang dapat ditahan oleh kabel sehingga menyebabkan isolasi kabel meleleh atau konduktor di dalam kabel meleleh sehingga berpotensi menyebabkan kebakaran.

### **2.3. Dampak Negatif Busur Api Listrik**

Gangguan listrik yang sering terjadi pada instalasi tegangan rendah adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat merupakan salah satu penyebab kebakaran yang terjadi pada instalasi tegangan rendah dikarenakan pada saat gangguan hubung singkat terjadi muncul fenomena busur api listrik (*arcing*) yang apabila bersentuhan dengan material-material yang mudah terbakar akan langsung menyebabkan kebakaran. Peralatan pengaman pada instalasi tegangan rendah konvensional seperti MCB (*Miniatur Circuit Breaker*) dan fuse gagal mendeteksi arus hubung singkat yang bernilai tinggi lalu melakukan trip. Kegagalan tersebut dikarenakan waktu terjadi gangguan hubung singkat yang sangat cepat, namun mempunyai nilai arus yang sangat besar



sehingga sangat berbahaya apabila gagal terdeteksi dan peralatan pengaman tidak melakukan trip [5] [6] [7].

Kasus kebakaran yang terjadi pada kurun waktu 2011 hingga 2015, rata-rata lebih dari 65% disebabkan karena gangguan hubung singkat yang menimbulkan fenomena busur api listrik [8]. Penyebab kebakaran pada instalasi tegangan rendah 220V/380V secara umum berasal dari instalasi listrik yang berantakan seperti sambungan antar kabel yang longgar seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 sehingga menyebabkan gangguan hubung singkat yang dapat menimbulkan fenomena busur api listrik (*arcing*) apabila peralatan pengaman gagal mendeteksi dan memutus aliran listrik maka akan menyebabkan kebakaran.



**Gambar 2.3** Instalasi listrik tegangan rendah yang tidak rapi (Sumber : <http://3.bp.blogspot.com/>)

## **2.4. Transformasi Wavelet**

### **2.4.1. Pengertian**

Transformasi wavelet adalah salah satu metode untuk memproses suatu sinyal. Untuk menganalisa sinyal yang mempunyai frekuensi bervariasi pada satuan waktu, diperlukan metode transformasi yang dapat memberikan resolusi frekuensi dan waktu dalam waktu yang bersamaan, analisis dengan cara ini disebut analisis multi resolusi (AMR). Tidak seperti transformasi fourier yang dibatasi hanya pada frekuensi, pada transformasi wavelet pembatasan tidak hanya pada frekuensi tetapi juga pada waktu, sehingga sangat berguna untuk menganalisa gangguan transien yang mengandung komponen frekuensi tinggi yang dilokalisasi pada sinyal-sinyal frekuensi daya. Transformasi wavelet dapat dibagi

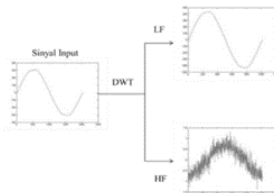
menjadi dua bagian yaitu transformasi wavelet kontinue (TWK) dan transformasi wavelet diskrit (TWD). Transformasi wavelet kontinue dilakukan dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Kedua transformasi wavelet diskrit lebih mudah penggunaannya dari pada transformasi wavelet kontinue karena TWD berprinsip bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi sub-sampling.

## 2.4.2 Transformasi Wavelet Diskrit

Metode transformasi wavelet diskrit (TWD) sinyal gelombang input didekomposisikan menjadi dua sinyal (dipisahkan) yaitu bagian frekuensi rendah disebut aproksimasi dan bagian frekuensi tinggi disebut detail seperti ditunjukkan pada gambar 4.4. Penggunaan suatu induk wavelet, TWD melakukan analisa detail pada bagian frekuensi tegangan tinggi, sedangkan analisa aproksimasi dilakukan pada bagian frekuensi tegangan rendah. Sebagai contoh suatu sinyal A akan dilakukan didekomposisi menjadi 2 sinyal yaitu sinyal A j+1 yang merupakan sinyal aproksimasi dan sinyal D j+1 yang merupakan sinyal detail [9]. Sinyal aproksimasi didapatkan melalui *low-frequency filter* lalu sinyal detail didapatkan melalui *high-frequency filter*. Setelah sinyal input diolah dan didekomposisi maka akan terbentuk sinyal baru yang mempunyai karakter dari lebar frekuensi yang berbeda dalam domain waktu. Sinyal masukan yang kemudian ditransformasikan menggunakan transformasi wavelet diskrit dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1)

$$y(n) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(n-k) \quad (2.1)$$

Persamaan (1) diatas menjelaskan rangkaian masukan  $x(n)$  dan sebagai koefisien filter  $h(n)$ , maka rangkaian keluaran disebut  $y(n)$ . Hasil keluaran  $y(n)$  ini menghasilkan koefisien TWD.



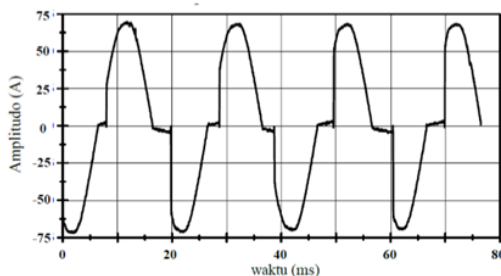
**Gambar 2.4** Diagram komposisi TWD

Transformasi wavelet berguna untuk membedakan antara arus *arcing*, arus *switching* dengan arus normal saat frekuensi dan dalam domain waktu masing-masing. Karena sebab itu penggunaan transformasi wavelet dapat digunakan untuk pendeteksian arus gangguan atau arus busur api listrik (*arcing*) dikarenakan dengan menggunakan frekuensi tinggi terdapat beberapa bagian dari sinyal yang tidak sinusoidal.

## 2.5. Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban Resistif

Karakteristik-karakteristik arus busur api listrik pada beban resistif ditunjukkan pada gambar 2.5 yang telah dilakukan indentifikasi sebelumnya, antara lain [10]:

1. Pada setengah cycle, arus mempunyai dua nilai yaitu seolah-olah bernilai nol (tidak bernilai) sebelum terjadi gangguan dan selanjutnya akan naik setelah melewati titik nol.
2. Laju kenaikan arus dan nilai maksimal arus *arcing* secara umum lebih besar dibandingkan dengan pada saat arus beban normal.
3. Gelombang busur api listrik (*arcing*) tidak berbentuk stationer, sehingga segmen arus busur api listrik (*arcing*) dapat berdampingan dengan segmen aliran arus normal.
4. Terbentuk *noise* frekuensi tinggi pada busur api listrik (10kHz-1GHz)
5. Beberapa metode pendeteksian (*arcing*) yang digunakan berdasarkan monitoring arus, dengan mengidentifikasi karakteristik yang berbeda dari *arc fault*.
6. Metode pendeteksian arcing salah satunya menggunakan komponen *High-frequency* (10kHz-1GHz), dengan menganalisis karakteristik yang berubah signifikan seperti arus puncak (*peaks*) dan kenaikan dari arus tersebut.



**Gambar 2.5** Karakteristik arus busur api listrik seri pada beban resistif

## 2.6. Metode Pendeteksian Menggunakan Wavelet dan LabView

Sinyal masukan yang telah didekomposisikan menjadi *high frequency* dengan transformasi *discrete wavelet transform*, sinyal tersebut digunakan sebagai sinyal utama untuk diolah dan ditampilkan dengan LabView sebagai *user interface*. Pendeteksian ini menggunakan 3 indikator utama yaitu keadaan “normal”, “switching”, “arcng”. Parameter pendeteksian yang digunakan adalah sebagai berikut [11].

1. *Threshold* arus yang digunakan adalah 2A. (*Threshold* pertama)
2. Jumlah titik yang melewati *Threshold* sebanyak 7 titik. (*Threshold* kedua).

Berdasarkan kedua *threshold* diatas bisa ditentukan 3 hasil pendeteksian. Pertama ketika *threshold* pertama dan kedua tidak terpenuhi maka indikator keadaan normal “ON” dan 2 indikator yang lain (*switching* dan *arcng*) “OFF”. Kedua yaitu dalam keadaan *threshold* pertama terpenuhi namun *threshold* kedua tidak terpenuhi maka indikator keadaan *switching* “ON” dan 2 indikator lain (normal dan *arcng*) dalam keadaan “OFF”. Ketiga yaitu dalam keadaan kedua *threshold* terpenuhi sehingga indikator *arcng* akan dalam keadaan “ON” dan 2 indikator lain (normal dan *switching*) dalam keadaan “OFF”.

## 2.7. Artificial Neural Network

*Artificial neural network* (ANN) adalah sistem komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami tentang sel saraf biologi dalam otak (neuron). Neuron dapat memiliki beberapa masukan dan mempunyai satu keluaran. Jalur masuk neuron bisa berupa data mentah atau data hasil olahan neuron sebelumnya. Keluaran neuron dapat berupa hasil akhir atau masukan bagi neuron berikutnya. Bagian-bagian metode *artificial neural network* adalah sebagai berikut [12]:

1. Lapisan Input : Input berfungsi sebagai penghubung jaringan ke dunia luar.
2. *Hidden Layer* : Jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*) dapat memiliki beberapa lapisan tersembunyi maka lapisan tersembunyi terbagi berfungsi menerima masukan dari lapisan input.
3. Lapisan Output : Keluaran dari neuron pada lapisan ini dianggap sebagai hasil akhir.

## 2.8. Metode Penentuan Kategori Besaran *Arcing* Menggunakan *Artificial Neural Network*

Setelah didapatkan hasil data pendeteksian sinyal gangguan *arcing* sesuai dengan jumlah serabut *arcing* yang terjadi, diperlukan penentuan kategori besaran *arcing* yang terdeteksi. Penentuan kategori besaran *arcing* didasarkan dengan parameter-parameter data pada saat *arcing* terdeteksi seperti : arus pada saat *arcing*, jumlah serabut saat *arcing*, durasi saat *arcing*, energi saat *arcing*. Parameter-parameter tersebut yang akan diolah dengan menggunakan algoritma *artificial neural network* untuk menentukan kategori besaran *arcing*.

Parameter-parameter data *arcing* hubung singkat yang terdeteksi bertujuan untuk menentukan masukan (*input*) dan hasil keluaran (*output*). Input merupakan data yang diolah dengan menggunakan *artificial neural network* sehingga menghasilkan *output* yang merupakan kategori besaran *arcing* hubung singkat yang terdeteksi sesuai dengan jumlah serabut *arcing* hubung singkat dengan rician sebagai berikut :

- Jumlah serabut 1 dan 3 = Kategori 1
- Jumlah serabut 6 dan 12 = Kategori 2
- Jumlah serabut 24 = Kategori 3

Setelah didapatkan kategori besaran *arcing* hubung singkat selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik-karakteristik setiap kategori besaran *arcing* terdeteksi.

## 2.9. Mean Square Error (MSE)

*Mean Square Error* (MSE) adalah metode dalam mengevaluasi hasil ramalan pada *artificial neural network*. Hasil keluaran atau sisa dikuadratkan, lalu dijumlahkan dan ditambahkan dengan jumlah observasi. Kesalahan (*error*) digunakan untuk mengetahui perbedaan antara hasil peramalan dengan target yang menjadi acuan. MSE dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - F_i)^2}{n} \quad (2.2)$$

Rician :

- n = Jumlah Sampel
- X<sub>i</sub> = Nilai aktual indeks
- F<sub>i</sub> = Nilai Prediksi indeks

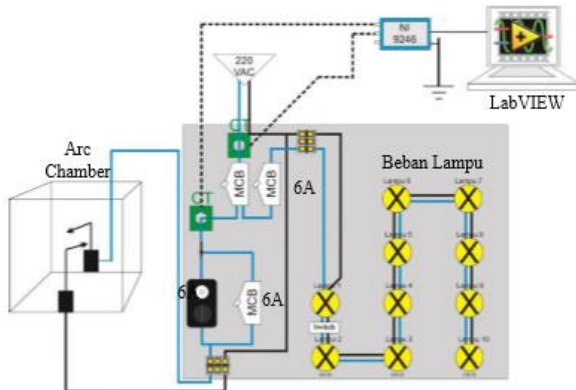
## BAB 3

### PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan menjelaskan tentang perancangan alat, pengambilan data, pengolahan data eksperimen, dan pengukuran kategori besaran busur api listrik pada tegangan rendah.

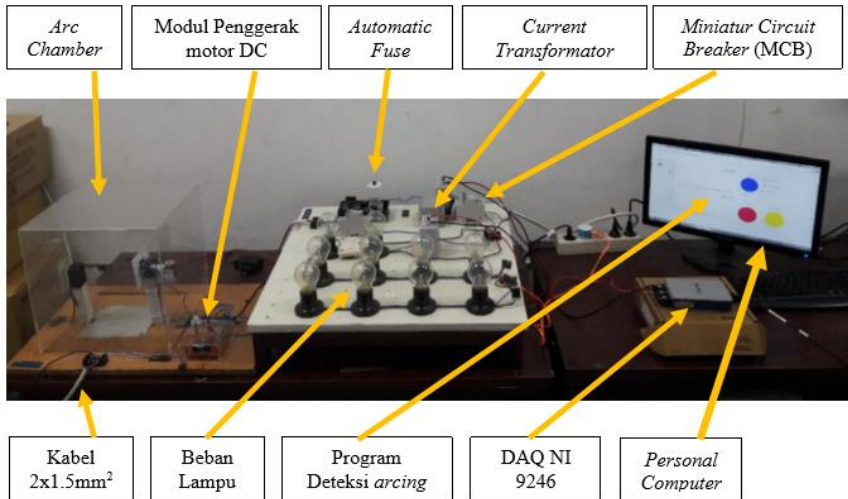
#### 3.1. Perancangan Alat Eksperimen

Perancangan alat eksperimen bertujuan untuk mensimulasikan serta memodelkan fenomena busur api listrik (*arcing*) pada tegangan rendah. Perancangan alat eksperimen ini menggunakan sumber listrik PLN, 2 buah *Current Transformer* (CT) rasio 200/5, lampu bohlam sebanyak 10 buah dengan daya 100 Watt, fuse 6A, *fusebox*, kabel konduktor serabut 1fasa dengan luas penampang 1.5 mm<sup>2</sup> (NYMHY 2x1,5mm<sup>2</sup>), *miniatur circuit breaker* (MCB), *chamber akrilik*, NI 9246 sebagai alat perekam arus. Selain *hardware* penelitian ini juga menggunakan *software* LabView, yang digunakan untuk tampilan pemngambilam data busur api listrik tegangan rendah (*arcing*) yang muncul saat eksperimen. Berikut adalah gambar skema alat eksperimen busur api listrik tegangan rendah :



**Gambar 3.1** Skema alat eksperimen busur api listrik tegangan rendah

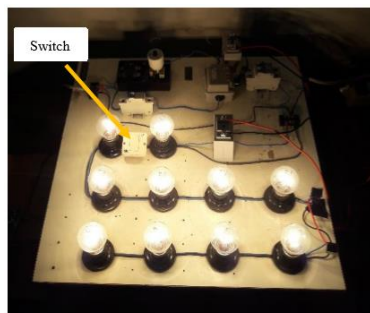
Berikut adalah gambar peralatan dari eksperimen :



**Gambar 3.2** Peralatan penelitian busur api listrik tegangan rendah

### 3.1.1. Beban Lampu sebanyak 10 Buah dengan Daya 100 Watt

Eksperimen ini menggunakan lampu sebagai beban resistif. Lampu yang digunakan sebanyak 10 buah dengan daya pada masing-masing lampu adalah 100 Watt yang disusun secara seri. Beban lampu akan digunakan pada saat eksperimen pengambilan data *arcing* hubung singkat tegangan rendah.



**Gambar 3.3** Rangkaian beban lampu

### **3.1.2. Arc Chamber Akrilik**

*Arc Chamber* merupakan peralatan penunjang untuk eksperimen ini. Penggunaan *arc chamber* bertujuan untuk mencegah loncatan busur api listrik (*spark*) menyebar dan mengenai kabel atau peralatan-peralatan di sekitar eksperimen yang mudah terbakar. Eksperimen ini menggunakan *arc chamber* dengan bahan dasar akrilik, karena akrilik dapat menyerap panas yang berlebih ketika eksperimen busur api listrik, sehingga *chamber* tidak panas dan *spark* tidak menyentuh ke peralatan-peralatan yang mudah terbakar. *Chamber* yang digunakan pada eksperimen ini memiliki ukuran panjang 30 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 20 cm, juga mempunyai ketebalan sebesar 2 mm.

### **3.1.3. Kabel Konduktor Serabut NYMHY 2x1.5mm<sup>2</sup>**

Kabel mempunyai fungsi utama yaitu menyalurkan arus dari sumber listrik menuju beban, sehingga kabel merupakan komponen penting pada instalasi listrik tegangan rendah. Instalasi tegangan rendah umumnya menggunakan kabel konduktor serabut yang sangat mudah terbakar bila adanya gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh gigitan binatang pengerat atau kerusakan isolasi. Tugas akhir ini melakukan eksperimen dengan menggunakan kabel konduktor serabut 1 fasa berjenis NYMHY dan mempunyai luasan penampang sebesar 1,5 mm<sup>2</sup>. Pemilihan penggunaan kabel tersebut (NYMHY 2x1,5mm<sup>2</sup>) karena banyak digunakan pada instalasi tegangan rendah. Kabel serabut ini mempunyai nominal arus yang dapat ditanggung sebesar 10 A dan daya yang terpasang bernilai 900 VA atau 1300 VA. Eksperimen ini menggunakan kabel dengan panjang sekitar 12 meter, hal ini berujuan agar panas yang ditimbulkan pada saat simulasi busur api listrik dapat berkurang.

### **3.1.4. Current Transformer**

*Current Transformer* (CT) mempunyai fungsi utama yaitu menaikkan dan menurunkan arus dan merupakan peralatan yang penting dalam sistem tenaga listrik. Tugas akhir ini menggunakan CT yang terhubung pada sisi sekunder dan dihubungkan pada NI 9426 sebagai data akuisisi. Eksperimen simulasi busur api listrik tegangan rendah ini menimbulkan lonjakan arus yang tinggi, oleh sebab itu sebelum dihubungkan ke NI 9426 arus harus diturunkan terlebih dahulu menggunakan CT agar tidak merusak peralatan. Berikut adalah spesifikasi CT yang digunakan :



**Tabel 3.1** Spesifikasi CT

Jenis CT	Powell MSQ-30
Rasio CT	200/5
Class CT	1
Burden CT	5
Range Frekuensi	50-60 Hz

Tabel 3.1 menunjukkan CT memiliki rasio CT 200/5, jika pada sisi primer mempunyai arus sebesar 200 A maka pada sisi sekunder arus sebesar 5 A. Nilai *class* CT menunjukkan tingkat akurasi pada CT, sehingga pada eksperimen ini CT mempunyai tingkat kesalahan sebesar 1%. Burden CT menunjukkan kemampuan CT terhadap nilai impedansi tertentu. Burden CT memiliki nilai standar yaitu 1,5 VA ; 3VA ; 5VA.

### **3.1.5. Automatic Fuse (Sekering Otomatis) & Fuse Box**

*Fuse* merupakan peralatan yang berfungsi untuk memutuskan arus listrik apabila terjadi hubung singkat (*short circuit*) atau arus berlebih (*over current*) pada instalasi listrik. *Fuse* memutuskan arus listrik (*trip*) apabila ada lonjakan arus yang sangat tinggi dalam waktu yang cukup untuk mendeteksi dan melakukan *trip*. Eksperimen ini menggunakan *fuse* dengan spesifikasi SNI Bright – G 6A 220V/380V (IEC 60898). Spesifikasi tersebut menunjukkan *fuse* dapat menahan arus dengan nominal beban sebesar 6A dan dipasang pada tegangan 220V.

### **3.1.6. Miniature Circuit Breaker (MCB)**

*Miniature Circuit Breaker* (MCB) merupakan peralatan pengaman yang digunakan oleh PLN, berfungsi untuk membatasi arus sekaligus dalam instalasi listrik tegangan rendah. MCB bekerja secara otomatis apabila ada arus yang lewat melebihi arus nominal pada MCB maka arus akan segera diputus (*trip*). Eksperimen ini menggunakan MCB sebagai pengaman beban lampu. MCB pada eksperimen ini hanya berfungsi untuk membatasi arus yang lewat pada beban lampu agar tidak mengganggu saat terjadi simulasi busur api listrik.

### **3.1.7. Perekam Arus National Instrument (NI) 9246**

*National Instrument* (NI) 9426 adalah peralatan yang dapat merekam masukan arus dan mempunyai 3 saluran masukan, sehingga NI 9426 seperti dapat masukan arus 3 fasa dengan *range* arus dari 1A atau

5A yang sebelumnya disambungkan ke CT untuk diturunkan terlebih dahulu nilai arusnya. Berikut adalah spesifikasi NI 9426 yang digunakan:

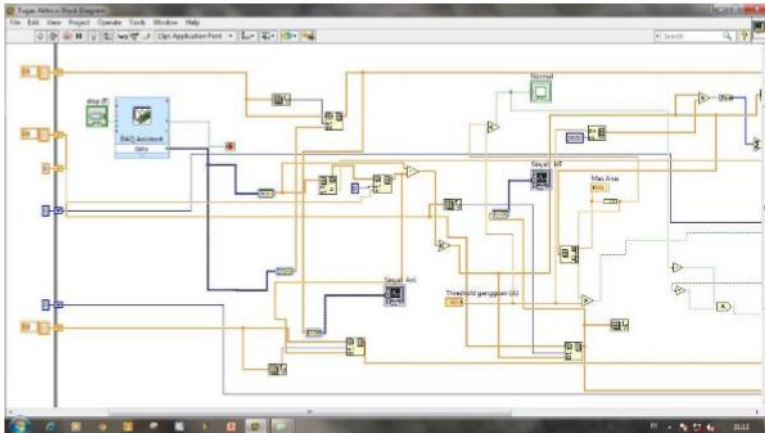
**Tabel 3.2** Spesifikasi NI 9426

NI 9426	
Sinyal masukan	<i>Alternating Current</i>
Jumlah input	3 Channel (3 Fasa Arus)
Max sample rate	50k sample/s (tiap fasa/channel)
Arus masukan	1A atau 5A nominal dari CT
Suhu Operasi	-40°C – 70°C

NI 9426 berfungsi untuk merekam sinyal arus dengan bentuk arus bolak-balik (AC) pada sisi sekunder CT. Input NI 9426 seperti untuk beban 3 fasa dikarenakan terdapat 3 channel input pada NI 9426 dengan kapasitas yang sama. NI 9426 akan menjadi data akusisi pada penelitian ini, dan hasilnya disalurkan menuju *computer* menggunakan kabel data USB.

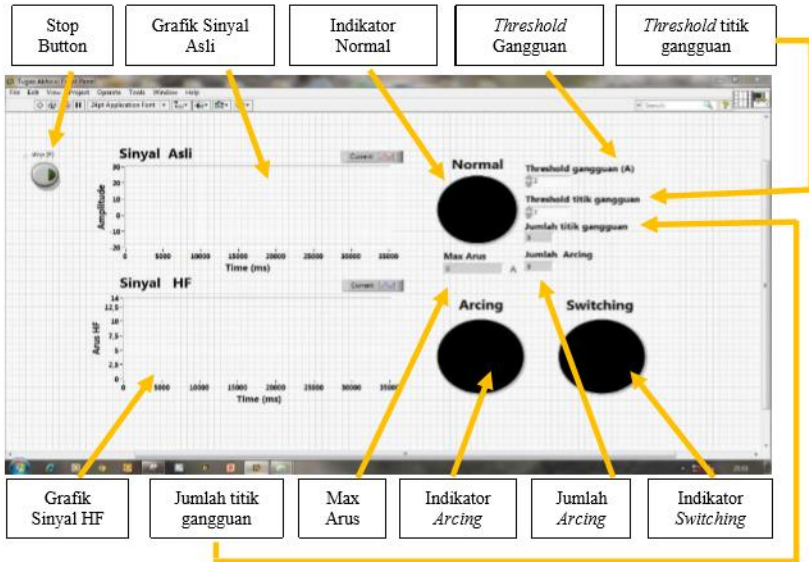
### 3.1.8. *Software LabView*

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah *software* pada komputer yang berfungsi dalam pemrosesan dan visualisasi khususnya dalam bidang akusisi data, kendali instrumentasi, dan automasi industri. LabVIEW melakukan instruksi sesuai dengan Bahasa pemrograman grafis (*block diagram*) yang dibuat, sehingga memiliki perbedaan dengan *software* kebanyakan yang menjalankan instruksi dengan *script* sebagai pembuatan program. LabVIEW menjalankan pemrograman dengan cara data *flow*, sesuai dengan yang dibuat oleh *user* kemudian ditampilkan dalam bentuk *user interface* yang berasal dari LabVIEW. Terdapat 2 panel kerja utama pada LabVIEW yaitu *front panel* dan *editor panel*. *Editor panel* merupakan panel yang berfungsi sebagai tempat pembuat program dalam bentuk *block diagram* dan format *Visual Instrument* (VI). *User* dapat memanggil fungsi menggunakan *toolbox* yang tersedia untuk membuat program dan *user interface* yang diinginkan pada *editor panel*. Program *block diagram* dapat dibuat dengan menghubungkan fungsi (*block*) dengan fungsi (*block*) yang lain.



**Gambar 3.4** Tampilan editor panel dengan block diagram pada LabVIEW

Panel utama yang kedua yaitu *front panel* berfungsi untuk menampilkan *user interface* yang telah dibuat *user* pada *editor panel*. Sinyal yang dikirim oleh DAQ NI 9246 menuju *personal computer* akan diproses oleh LabVIEW. Eksperimen ini menggunakan bantuan LabVIEW yang berfungsi supaya program yang telah dibuat dapat menampilkan arus asli yang masuk melalui DAQ NI 9426 dan arus yang telah diolah menggunakan *transformasi wavelet* menjadi arus *high frequency* (HF). Menggunakan program yang telah dibuat, eksperimen ini dapat mengamati 3 indikator yaitu: *normal*, *switching*, dan *arcing*. Terdapat parameter-parameter lain yang ditampilkan seperti batas *threshold* arus yang dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan, jumlah *threshold* titik gangguan, jumlah titik gangguan yang lebih besar dari *threshold* arus, dan jumlah *arcing* hubung singkat yang terjadi. Program deteksi ini menggunakan logika pada *diagram block* menginstruksikan apabila arus yang masuk adalah arus yang berada pada kategori *normal*, maka indikator *normal* “ON” dan dua indikator (*switching* dan *arcing*) lain mati. Apabila terjadi hubung-singkat maka hanya indikator *arcing* yang akan “ON” dan dua indikator lain (*normal* dan *switching*) mati, demikian juga apabila terjadi penambahan beban lampu maka indikator *switching* “ON” dan dua indikator lain (*normal* dan *arcing*) mati.



**Gambar 3.5** User Interface deteksi dan monitoring arcing pada LabVIEW

### 3.2. Pengambilan Data

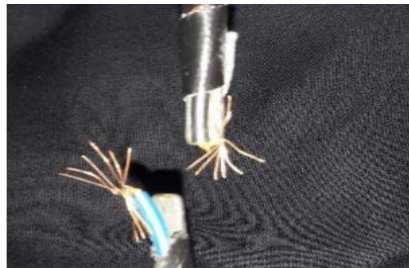
Peralatan utama yang digunakan untuk pengambilan data adalah NI 9246, berfungsi sebagai perekam arus. Data yang diambil pada eksperimen ini adalah arus *arcing* yang terdeteksi pada saat terjadi simulasi hubung singkat pada kabel. Pengambilan data arus *arcing* menggunakan frekuensi sampling 5k Samples/s, yang berarti dalam waktu 1 detik terdapat 5k data yang terekam oleh DAQ NI 9426. Eksperimen simulasi *arcing* dilakukan dengan variasi jumlah serabut sebanyak 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut, dengan masing-masing dilakukan 20x percobaan. Sehingga apabila dijumlahkan total data yang digunakan pada eksperimen ini adalah 100 buah.



**Gambar 3.6** Eksperimen 1 serabut



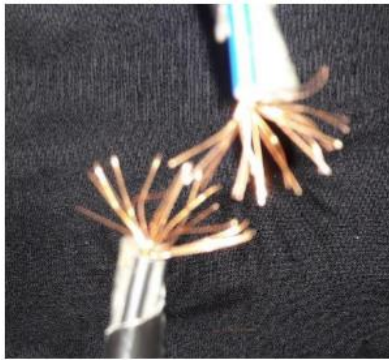
**Gambar 3.7** Eksperimen 3 serabut



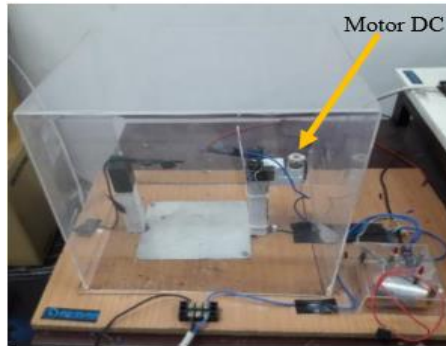
**Gambar 3.8** Eksperimen 6 serabut



**Gambar 3.9** Eksperimen 12 serabut



**Gambar 3.10** Eksperimen 24 serabut



**Gambar 3.11** Eksperimen hubung singkat menggunakan motor DC

Gambar 3.6-3.10 menunjukkan jumlah serabut yang digunakan pada eksperimen busur api listrik adalah 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut. Pengambilan data busur api listrik dengan melakukan hubung singkat 2 kabel konduktor serabut NYMHY 1,5 mm<sup>2</sup>. Kabel konduktor serabut pertama dalam keadaan diam, sebagai kabel netral, lalu kabel konduktor serabut kedua sebagai kabel fasa dan dalam keadaan bergerak yang digerakkan oleh motor DC sebagai pemicu terjadinya hubung singkat. Sehingga apabila motor DC menggerakkan kabel fasa dan menyentuh kabel netral maka kedua kabel konduktor serabut akan terjadi hubung singkat, sehingga arus akan bertambah secara signifikan dalam waktu yang sangat singkat. Gambar 11 menunjukkan eksperimen hubung singkat menggunakan motor DC.

### 3.3. Pengolahan Data

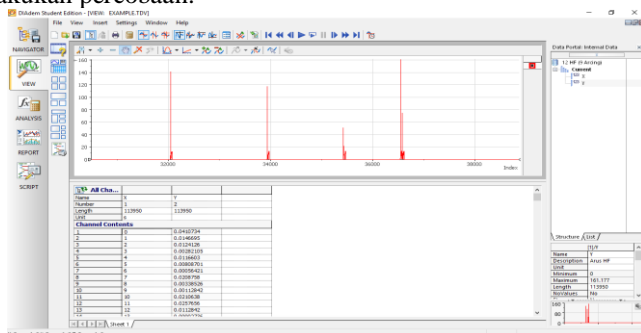
*Software* yang digunakan untuk mengolah data sinyal adalah LabVIEW. Program *user interface* yang telah dibuat pada LabVIEW dapat mendeteksi dan membedakan 3 kondisi yaitu normal, *switching*, dan *arcing* secara *real time*. Arus input yang masuk CT, lalu dihubungkan dengan NI 9426 akan diubah kembali menjadi sinyal asli pada program LabVIEW, sehingga arus yang ditampilkan pada grafik *user interface* program LabVIEW mempunyai nilai amplitudo yang sama dengan arus asli dari eksperimen yang dilakukan. Selanjutnya sinyal asli tersebut akan dikonvolusi menggunakan *transformasi wavelet* yang telah terprogram pada *block diagram* yang dibuat pada *editor panel software* LabVIEW.

Proses konvolusi arus asli menggunakan *transformasi wavelet* menghasilkan grafik *high frequency* (HF) yang ditampilkan juga pada *user interface* LabVIEW yang telah dibuat. *Block diagram* yang telah dibuat pada LabVIEW mengolah sinyal input dalam bentuk array sehingga dapat dianalisa setiap satuan datanya. Data-data yang didapatkan akan dibandingkan dengan *threshold* (batas-batas) tertentu dan dapat diubah-ubah. Batas yang digunakan untuk pengolahan data adalah batas nilai arus HF dan batas minimum titik HF yang melebihi *threshold* arus.

### 3.3.1. DIAdem

*Software* pengolahan data selanjutnya yang digunakan adalah DIAdem yang merupakan *software* yang dapat digunakan untuk memvisualisasikan, menemukan, menganalisis, mengolah, dan melaporkan data pendeteksian yang telah diperoleh dengan proses akuisisi data secara cepat. Hasil dari DIAdem disimpan dalam format '.tdms' (*Technical Data Management Solution*). Eksperimen ini menggunakan DIAdem untuk mengolah data secara *offline*, pengolahan data seperti menampilkan sinyal *arcing*, melakukan pemotongan sinyal sesuai dengan yang dibutuhkan. Memotong sinyal data diperlukan dikarenakan banyak data yang terambil tidak semua diolah dan ditampilkan, data pada saat akan terjadi *arcing* yang terjadi.

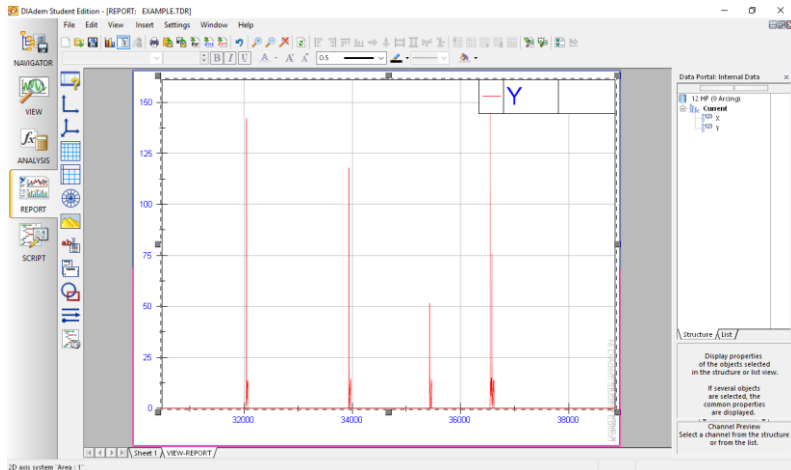
Sinyal yang telah dipotong dengan DIAdem dapat dilihat pada *toolbar view* dan *toolbar report*. Pada *toolbar view* dari sinyal data yang telah didapatkan melalui percobaan dapat dilihat nilai amplitudo arus setiap kondisi waktu sesuai dengan jumlah sampling yang ditentukan dia wal melakukan percobaan.



**Gambar 3.12** Pengolahan data menggunakan *toolbar view* DIAdem



Gambar 3.12 menunjukkan *software* DIAdem dalam mengolah data sinyal arus yang didapatkan pada percobaan simulasi hubung singkat. Setelah dilakukan pemtongan data, maka data sinyal arus akan dipindah pada *toolbar report* agar dapat disimpan dalam format gambar ('jpg'), seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.13.



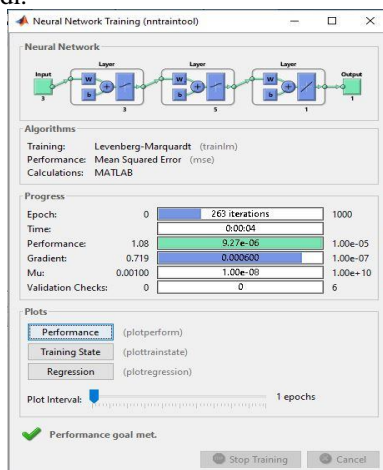
**Gambar 3.13** Tampilan data report data menggunakan *toolbar report* DIAdem

### 3.3.2. Matlab (*Matrix Laboratory*)

Matlab adalah *software* yang dikembangkan oleh *The Matworks* yang dapat melakukan memanipulasi matriks, *plotting* data, pembuatan serta implementasi algoritma, dan fungsi lainnya. Tugas akhir ini menggunakan *software* matlab sebagai media untuk membuat dan mengimplentasikan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN). Algoritma ANN berfungsi untuk mengukur besaran kategori *arcing* hubung singkat yang terjadi. Penelitian ini terdapat 3 kategori yaitu kategori pertama dengan jumlah serabut 1 dan 3, lalu kategori kedua dengan jumlah serabut 6 dan 12, terakhir kategori ketiga dengan jumlah serabut 24. Setelah sinyal arus diolah dengan menggunakan DIAdem maka akan dilihat nilai arus maksimal pada saat terjadi *arcing* hubung singkat, durasi waktu terjadi *arcing* hubung singkat dan energi yang muncul ketika terjadi *arcing* hubung singkat. Ketiga parameter arus, durasi, dan energi pada saat *arcing* akan menjadi parameter utama yang diinputkan pada algoritma *artificial neural network* sebagai algoritma

pengolah agar dapat dihasilkan kategori yang tepat dan sesuai dengan *arcing* hubung singkat yang terjadi.

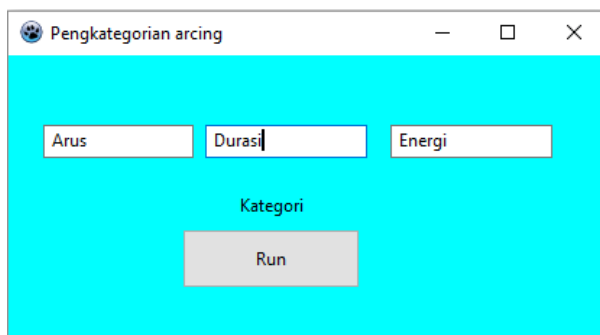
Eksperimen ini melakukan percobaan simulasi *arcing* hubung singkat sebanyak 20 kali pada serabut 1, serabut 3, serabut 6, serabut 12 dan serabut 24. Sehingga data yang didapatkan sebanyak 100 data. Terdapat dua proses paengolahan data pada algoritma *artificial neural network* yaitu *training data* dan *testing data*. Proses yang pertama adalah *training data* pada proses ini *neural network* akan dilatih menggunakan data *training* sehingga *neural network* dapat mengetahui nilai-nilai parameter *arcing* hubung singkat sehingga dapat mengkategorikan *arcing* hubung singkat sesuai dengan nilai arus maksimal, durasi, dan energi pada saat *arcing* hubung singkat terjadi. Data *training* yang digunakan pada eksperimen ini sebanyak 80% dari semua data total sehingga data yang digunakan untuk data *training* sebanyak 80 data, gambar 3.14 menunjukkan proses *training* data pada neural network. Selanjutnya yaitu *testing* data pada proses ini akan dilakukan *testing* pada *neural network* dengan menggunakan data *testing*, sehingga dapat dilihat apakah *neural network* dapat mengkategorikan *arcing* hubung singkat sesuai dengan parameter nilai arus maksimal, durasi waktu, dan energi pada saat *arcing* hubung singkat terjadi.



**Gambar 3.14** Proses training neural network pada Matlab

### 3.3.3. Lazarus

Lazarus merupakan *software* bahasa pemrograman yang digunakan sebagai perangkat lunak pembuatan *Graphic User Interface* (GUI). *Graphic User interface* dibutuhkan untuk mempermudah pengguna dalam memasukkan data-data parameter *arcing* hubung singkat yang terjadi dan melihat hasil kategori *arcing* hubung singkat yang terjadi. Gambar 3.15 menunjukkan tampilan *graphic user interface* pengkategorian *arcing* hubung singkat tegangan rendah.



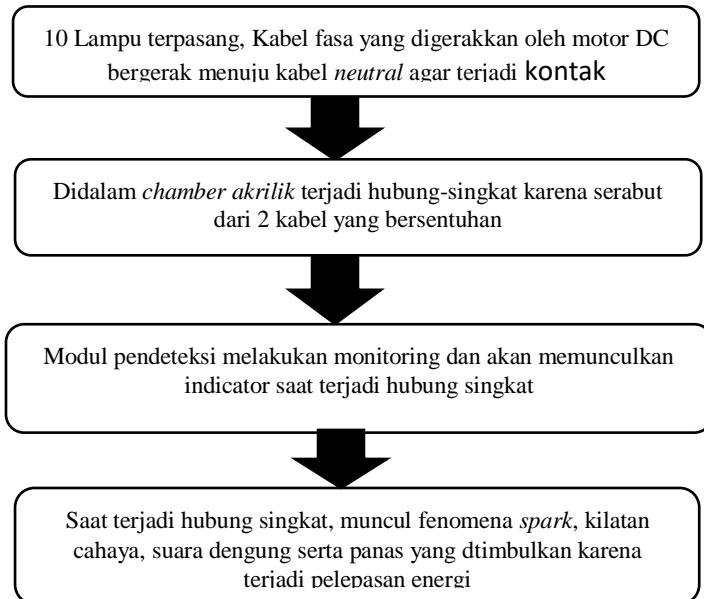
**Gambar 3.15** *Graphic User Interface* Kategori Arcing Hubung Singkat

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS DATA

#### 4.1. Mekanisme Kondisi *Arcing* Pada Tegangan Rendah

Pengambilan data busur api listrik (*arcing*) pada eksperimen ini dilakukan dengan menghubungkan-singkatkan kabel fasa dengan kabel netral, keadaan ini dapat dilakukan dengan kabel netral dipasang dalam keadaan diam lalu kabel fasa digerakkan menuju kabel netral dengan bantuan motor DC sehingga simulasi hubung singkat dan fenomena *arcing* dapat terjadi. Peristiwa *arcing* akan menimbulkan *spark* (percikan), percikan ini yang menjadi fokus pendeteksian *arcing* hubung singkat. Melelehnya kabel konduktor serabut dan terjadinya *flash* (kilatan cahaya) dengan intensitas yang sangat tinggi juga merupakan kejadian yang ditimbulkan Karena adanya fenomena *arcing*. Gambar 4.1 menjelaskan tentang mekanisme pengambilan data *arcing* hubung singkat.



**Gambar 4.1** Mekanisme pengambilan data *arcing* hubung singkat

#### 4.1.1. Pengolahan Data

Setelah pengambilan data *arcing* hubung singkat telah dilakukan selanjutnya adalah pengolahan data. Pengolahan data pada eksperimen ini dilakukan dengan bantuan *software* DIAdem dan Matlab untuk menganalisis grafik arus *arcing* hubung singkat yang didapatkan pada proses pengambilan data. Analisa yang dilakukan meliputi bentuk grafik yang muncul pada saat *arcing* terjadi, jumlah titik gangguan yang melebihi *threshold* yang telah ditentukan, jumlah *arcing* setiap ½ cycle (50 data) lalu dilakukan perbandingan dengan *user interface* pada LabView, perubahan indikator pada saat *arcing* hubung singkat terjadi dan durasi waktu terjadinya *arcing*.

#### 4.2. Mekanisme Percobaan Karakteristik Arus pada Kondisi *Arcing* Hubung Singkat

Proses pengolahan data dilakukan dengan melakukan pemotongan data yang terekam terlebih dahulu hal ini dilakukan karena banyak data terekam dan singkatnya fenomena *arcing* hubung singkat sehingga dilakukan pemotongan data mendekati terjadinya *arcing* agar Analisa data dapat lebih mudah dan presisi. Tugas akhir ini menggunakan frekuensi sampling 5k/s, sehingga Analisa data akan dilakukan pada setiap 50 data, hal ini sesuai dengan :

$$\frac{1}{2} \text{ cycle} = \frac{1}{2} \frac{\text{frekuensi sampling}}{50} = \frac{1}{2} \times \frac{5000}{50} = 50 \quad (4.1)$$

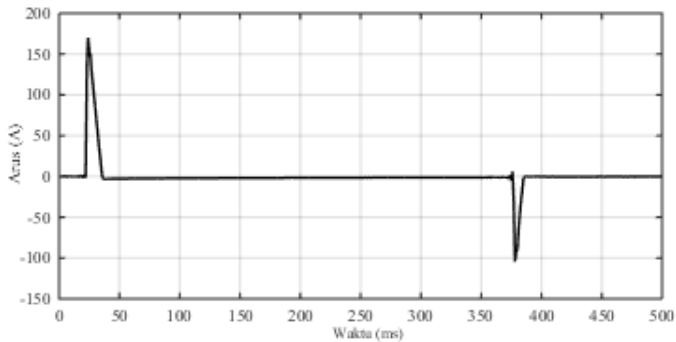
Analisa karakteristik kondisi *arcing* hubung singkat meliputi arus maksimal pada saat terjadi *arcing*, jumlah titik gangguan pada saat terjadi *arcing*, durasi *arcing* hubung singkat dan energi yang muncul pada saat terjadi *arcing* hubung singkat dengan menggunakan variasi jumlah serabut yang berbeda yaitu 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut. Hasil dari analisa arus maksimum, durasi dan energi pada saat *arcing* selanjutnya akan menjadi parameter utama dalam pengkategorian besaran *arcing* hubung singkat tegangan rendah. Tabel 4.1 menunjukkan total data yang diolah pada Tugas Akhir ini.

**Tabel 4.1** Jumlah data percobaan deteksi arcing

Jumlah Serabut	Jumlah Percobaan
1 serabut	20
3 serabut	20
6 serabut	20
12 serabut	20
24 serabut	20
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.3. Grafik Asli Sinyal Kondisi *Arcing*

Bagian bab ini akan menampilkan grafik sinyal asli pada percobaan *arcing* hubung singkat dengan jumlah serabut 24.



**Gambar 4.2** Sinyal asli percobaan *arcing* hubung singkat tegangan rendah

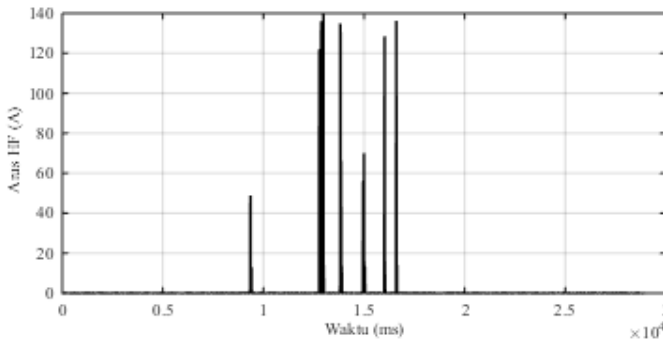
#### 4.4. Analisa Data Kondisi Arcing Hubung Singkat Pada Tegangan Rendah

Simulasi *arcing* tegangan rendah dilakukan dengan menghubungkan singkatkan kabel fasa dengan kabel netral yang umum terjadi pada instalasi tegangan rendah seperti perumahan, pemukiman, dan pasar. Percobaan ini menghubungkan singkatkan kabel konduktor serabut fasa dan netral dengan jumlah serabut yang bervariasi, mulai dari 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut. Supaya sesuai dengan keadaan *real* instalasi tegangan rendah yang secara umum menggunakan daya 900 VA atau 1300 VA dan tegangan 220 V maka pada eksperimen ini beban direpresentasikan dengan menggunakan lampu dengan

kapasitas 100 watt sebanyak 10 buah sehingga daya total sebesar 1000 watt sehingga dapat mewakili kondisi *real* instalasi tegangan rendah. Eksperimen ini menghasilkan arus maksimum saat terjadi *arcing*, jumlah titik gangguan (titik yang berada pada *threshold* arus 2A), durasi *arcing* hubung singkat dan energi yang dihasilkan pada saat *arcing* terjadi.

#### 4.4.1. Pengolahan Data dengan DWT

*Discrete Wavelet Transform* (DWT) merupakan salah satu metode transformasi yang dapat mentransformasi sinyal asli menjadi sinyal diskrit sehingga diperoleh variable atau nilai tertentu yang diinginkan. Percobaan ini menggunakan transformasi *wavelet* untuk mengubah sinyal asli menjadi sinyal *High Frequency* sehingga membuat sinyal arus menjadi diskrit dan dapat dengan mudah dilakukan Analisa. Sinyal arus pada saat kondisi *arcing* menimbulkan lonjakan arus yang sangat tinggi dan waktu yang sangat singkat dan dapat bertambah ketika kabel srabut fasa dan netral bersentuhan berulang.



**Gambar 4.3.** Hasil transformasi wavelet pada kondisi *arcing* 24 serabut,

Gambar diatas menunjukkan bahwa transformasi *wavelet* pada program pendeteksian *arcing* menghasilkan keseluruhan sinyal arus pada saat kabel serabut fasa dan netral bersentuhan dalam bentuk sinyal diskrit yang terletak di atas sumbu-x, sehingga dapat mempermudah proses Analisa.

#### 4.4.2. Arus Maksimum HF, Durasi dan Energi

Arus maksimum adalah arus dengan nilai amplitudo paling tinggi pada sinyal arus *high frequency* ketika terjadi *arcing* hubung singkat tegangan rendah. Arus maksimum dapat dilihat dengan menggunakan *software* DIAdem dengan menggunakan fitur *crosshair cursor measurement*. Jumlah titik gangguan (jumlah titik > threshold) harus melebihi jumlah *threshold* titik gangguan yaitu sebanyak 7 titik, apabila jumlah titik gangguan kurang dari 7 titik maka tidak dapat dikategorikan menjadi kondisi *arcing*. Jumlah titik gangguan dapat dilihat langsung pada *user interface* program pendeteksian pada LabView secara langsung setelah terjadi *arcing* hubung singkat (*online*) atau menggunakan *software* DIAdem saat melakukan Analisa secara *offline*. Durasi pada saat terjadi *arcing* dapat ditentukan dengan membagi jumlah titik gangguan pada saat *arcing* dengan frekuensi sampling. Energi pada saat *arcing* dapat ditentukan dengan mengalikan daya dan waktu pada saat *arcing* hubung singkat terjadi.

**Tabel 4.2** Data arus HF. Jumlah Titik Gangguan, Durasi, dan Energi *arcing*

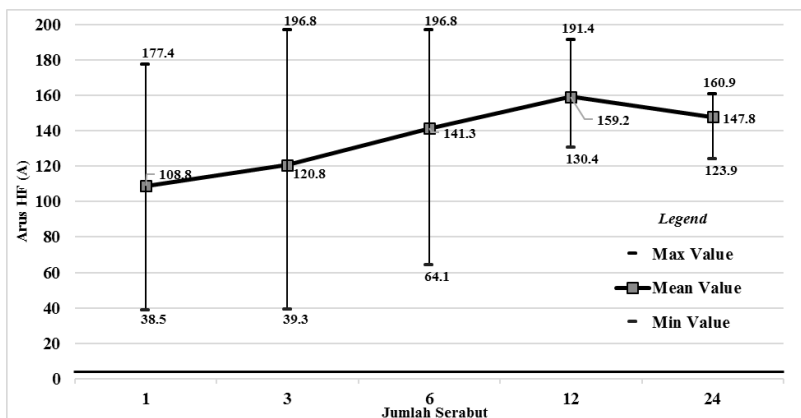
Jumlah Serabut	Jumlah Percobaan	Range Arus HF max (A)	Range Durasi (ms)	Range Energi (Joule)
1	20	38,5-177,4	1,8-8,4	18-276,7
2	20	39,3-196,8	5,2-196,8	98,1—718,1
3	20	64,1-196,8	11,6-34,8	456-1298,9
4	20	130,04-191,4	14,9-70,8	706,9-3371,7
5	20	123,9-160,9	42,4-72,6	1623,4-2892,1

Melihat tabel diatas dapat disimpulkan bahwa rata-rata pada setiap serabut menghasilkan arus *high frequency* maksimum yang lebih dari 100A. Semakin banyak jumlah serabut yang dihubung singkatkan maka semakin tinggi juga nilai minimal arus maksimum *high frequency* yang terjadi. Kesimpulan yang lain adalah semakin banyak serabut maka durasi terjadinya *arcing* semakin lama sehingga jumlah titik gangguan juga semakin bertambah.

#### 4.4.3. Analisa Persebaran Data

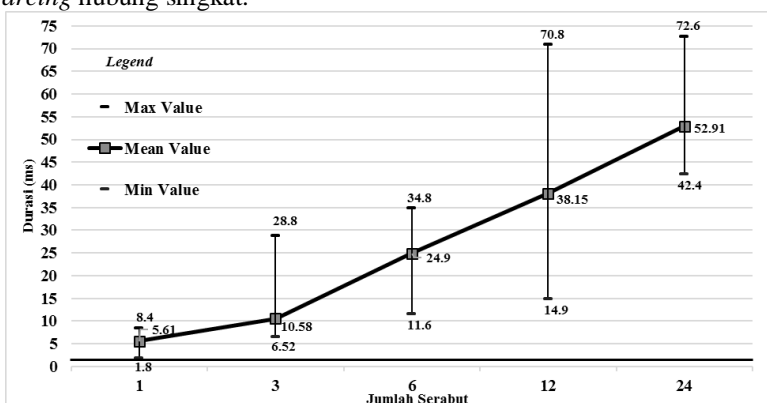
Subbab ini akan menampilkan grafik persebaran data arus maksimum, durasi, dan energi pada saat *arcing* hubung singkat yang terdeteksi saat eksperimen *arcing* hubung singkat dilakukan dengan bantuan *software* melalui *toolbox stockplot*.





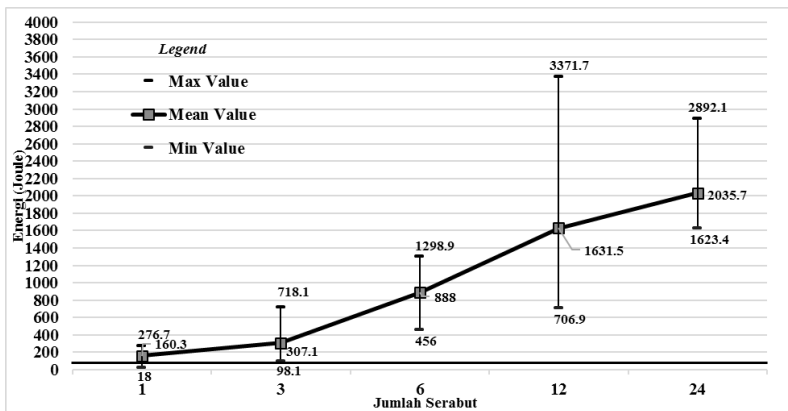
**Gambar 4.4** Grafik persebaran data arus HF *arcing* hubung singkat

Gambar diatas menunjukkan data persebaran arus HF maksimum yang dihasilkan saat dilakukan percobaan *arcing* hubung singkat tegangan rendah. Seperti yang telah ditampilkan pada gambar grafik data arus HF maksimum *arcing* hubung singkat nilai rata-rata arus maksimum HF *arcing* akan semakin naik seiring dengan bertambahnya jumlah serabut, dari gambar grafik diatas juga dapat terlihat bahwa nilai arus HF maksimum telah melebihi *threshold* arus yaitu 2A dan gambar grafik selanjutnya akan dilihat durasi terjadi waktu *arcing* hubung singkat untuk menentukan bahwa data *arus* HF maksimum merupakan arus *arcing* hubung singkat.



**Gambar 4.5** Grafik persebaran data durasi *arcing* hubung singkat

Gambar 4.5 menunjukkan data persebaran durasi *arcing* hubung singkat, dari gambar grafik diatas dapat terlihat bahwa semakin banyak jumlah serabut yang dihubungkan singkatan maka durasi terjadinya *arcing* hubung singkat akan semakin lama dan dapat dilihat dari gambar grafik bahwa jumlah titik gangguan yang melebihi *threshold* arus > 7 titik atau apabila dijadikan dalam bentuk durasi waktu >1,4 ms. Sehingga dilihat dari gambar grafik bahwa semua durasi simulasi *arcing* hubung aingkat lebih dari 1,4 ms sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang didapatkan adalah benar data *arcing* hubung singkat karena telah memenuhi 2 *threshold* yang telah ditentukan.



**Gambar 4.6** Grafik persebaran data energi *arcing* hubung singkat

Gambar 4.6 menunjukkan persebaran energi yang dihasilkan pada saat terjadi *arcing* hubung singkat yang terdeteksi pada saat eksperimen, dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah serabut yang terjadi hubung singkat maka energi pada saat *arcing* akan semakin besar.

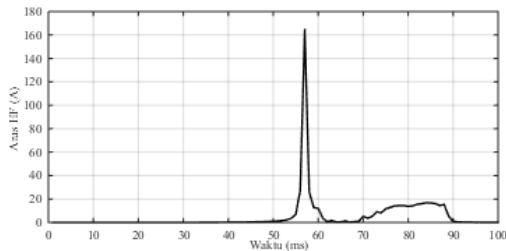
#### 4.4.4. Analisa Kondisi Arcing Pada Program Deteksi Arcing

Subbab ini akan menjelaskan bahwa program pendeteksi arcing pada LabView telah dapat mendeteksi *arcing* sesuai dengan *threshold* yang telah ditentukan sebelumnya yaitu :

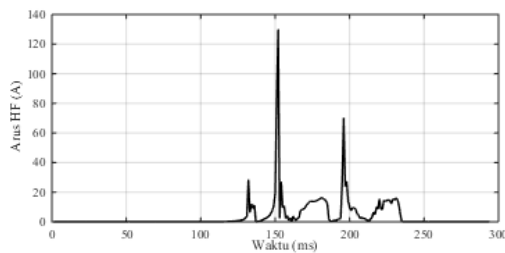
- *Threshold* arus sebesar 2A

- *Threshold* jumlah titik gangguan (jumlah titik yang  $> threshold$  arus) yaitu 7 titik

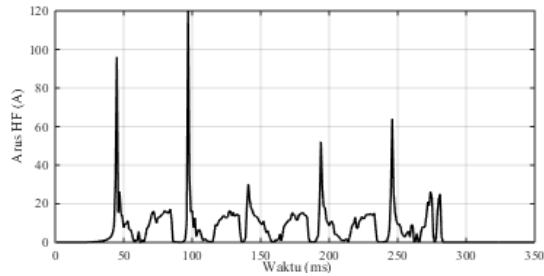
Ketika kondisi menunjukkan bahwa terjadi *arcing* maka kedua *threshold* diatas harus sudah terlewati. Apabila kedua *threshold* tidak terlewati maka akan dikategorikan pada kondisi normal, lalu ketika hanya *threshold* arus sebesar 2A yang terpenuhi maka akan dikategorikan pada kondisi *switching*. Sesuai dengan tabel 2 yang menunjukkan nilai arus maksimum dan durasi saat *arcing* hubung singkat terjadi. Nilai arus maksimum HF pada *arcing* hubung singkat yang terdeteksi mempunyai nilai rata-rata yang sangat tinggi yaitu lebih dari 100 A sehingga *threshold* pertama telah terpenuhi, *Threshold* kedua yaitu jumlah titik yang  $> threshold$  arus sebanyak 7 titik atau apabila dilihat dari durasinya yaitu berdurasi 1.4 ms, sesuai dengan tabel 2 bahwa durasi pada saat melakukan percobaan *arcing* hubung singkat tidak ada yang kurang dari 1.4 ms. Sehingga dapat disimpulkan bahwa 100 data percobaan yang telah dilakukan merupakan *arcing* hubung singkat yang terdeteksi oleh program deteksi *arcing* hubung singkat pada LabView. Selanjutnya akan ditampilkan grafik pada tiap jumlah serabut percobaan *arcing*.



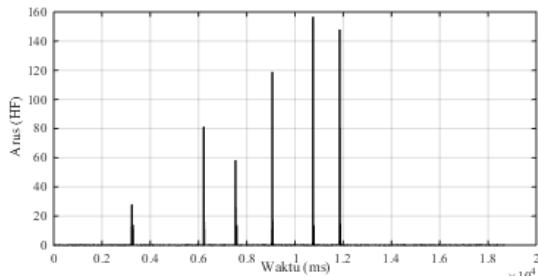
**Gambar 4.7** Sinyal Arus Arcing 1 Serabut



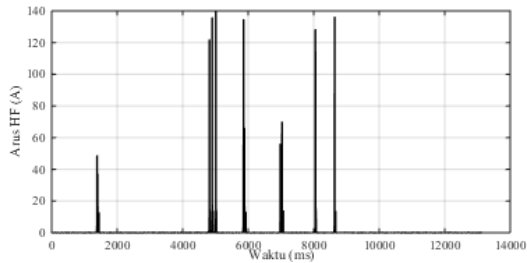
**Gambar 4.8** Sinyal Arus Arcing 3 Serabut



**Gambar 4.9** Sinyal Arus Arcing 6 Serabut



**Gambar 4.10** Sinyal Arus Arcing 12 Serabut



**Gambar 4.11** Sinyal Arus Arcing 24 Serabut

Terlihat pada 5 gambar grafik sinyal arus HF pada setiap serabut percobaan *arcing* hubung singkat (gambar 4.7-4.11), bahwa ketika kedua kabel konduktor fasa dan netral dihubungkan singkatkan maka indikator *arcing* akan “ON” lalu jumlah *arcing* dan jumlah titik gangguan akan terlihat [ada user interface. Jumlah serabut dan jumlah *arcing* akan sama

namun ketika percobaan dilakukan tidak semua percobaan jumlah serabut sesuai dengan jumlah *arcing* hal ini dikarenakan terdapat peluang beberapa serabut tidak melakukan kontak dengan sempurna.

#### 4.5. Penentuan Besaran Kategori Arcing Hubung Singkat

Subbab ini akan menjelaskan pengkategorian besaran *arcing* hubung singkat yang terdeteksi menggunakan bantuan algoritma *artificial neural network* (ANN). Parameter utama yang akan dilatih pada algoritma ANN adalah arus HF maksimum, durasi, dan energi pada saat *arcing* hubung singkat yang terdeteksi, sehingga selanjutnya didapatkan pengkategorian besaran *arcing* hubung singkat sesuai dengan kategorinya. Tabel 4.3 menjelaskan pengukuran kategori arcing hubung singkat. Terdapat dua proses utama saat melakukan penentuan besaran kategori *arcing* hubung singkat tegangan rendah yaitu *training* dan *testing* data.

**Tabel 4.3** Pengukuran kategori *arcing* hubung singkat

Kategori	Range Energi (Joule)	Kasus
1	0-500	Jumlah serabut 1 dan 3
2	501-1500	Jumlah serabut 6 dan 12
3	1500-3000	Jumlah serabut 24

*Training* data adalah proses pelatihan algoritma *artificial neural network* dengan parameter-parameter *arcing* hubung singkat yang terjadi diharapkan `setelah proses *training* algoritma *artificial neural network* dapat menentukan kategori besaran *arcing* dengan tepat. Selanjutnya setelah proses *training* data adalah *testing* data pada proses ini dilakukan pengtesan apakah algoritma *artificial neural network* dapat mengkategorikan besaran *arcing* hubung singkat dengan benar Proses *training* data menggunakan data sebanyak 80% dari data total dan proses *testing* data menggunakan data sebanyak 20% dari data total. Sehingga pada percobaan ini menggunakan 80 data *arcing* hubung singkat yang terdeteksi pada proses *training* dan 20 data *arcing* hubung singkat yang terdeteksi pada proses *testing*,

#### 4.5.1. *Training Data Algoritma Artificial Neural Network*

**Tabel 4.4** Parameter Pelatihan pada artificial neural network

showWindow	True
showWindow	False
Show	100
Epochs	1000
Time	Inf
Goal	0.001
Min-grad	1e-07
Max-fail	1000
Mu	0.001
mu_dec	0.1
Mu inc	10
mu_max	10000000000

*Training* data pada ANN untuk menentukan kategori besaran *arcing* hubung singkat yang terjadi dilakukan dengan bantuan software Matlab. Dibutuhkan 80 % data total untuk melakukan proses *training* sehingga digunakan 80 data *arcing* hubung singkat yang telah terdeteksi. Terdapat 5 variasi serabut yang terdeteksi *arcing* hubung singkat sehingga tiap variasi serabut digunakan 16 data parameter *arcing* hubung singkat untuk melakukan.

Tabel 4.4 menunjukkan parameter-paramter yang perlu diatur sebelum melakukan *training* neural network. Goal merupakan minimal nilai error yang diinginkan lalu Epoch adalah jumlah iterasi *artificial neural network* dan Max Fail merupakan jumlah kesalahan maksimal yang boleh dilakukan. Jika jumlah kesalahan sudah melebihi dari nilai Max-Fail yang telah dibolehkan proses *training* akan langsung terhenti meskipun jumlah iterasi belum mencapai maksimal.

**Tabel 4.5** Data *Training* ANN

Nomer Data	Arus Maksimum HF (A)	Durasi (ms)	Energi (Joule)	Kategori <i>arcing</i>
1	165.2	5.6	240.5	1
2	140.1	6.8	247.7	1
3	70.5	6.8	124.7	1
4	41.7	8.0	86.7	1

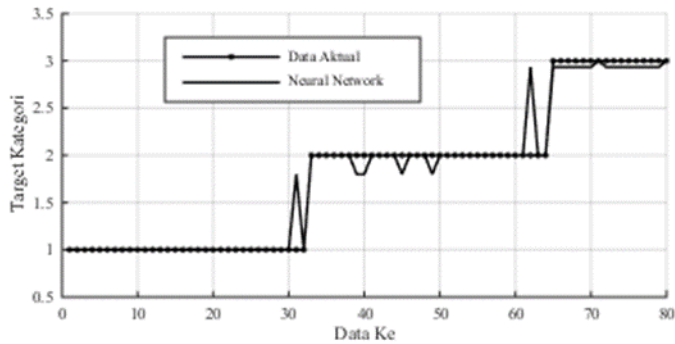
<b>Nomer Data</b>	<b>Arus Maksimum HF (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>	<b>Kategori <i>arcing</i></b>
5	131.5	6.4	218.8	1
6	119.7	5.2	161.9	1
7	78.5	3.0	61.2	1
8	116.3	4.4	133.1	1
9	125.9	8.4	274.9	1
10	51.7	7.8	104.9	1
11	101.0	3.0	78.8	1
12	175.2	6.0	273.4	1
13	125.8	6.8	222.5	1
14	98.7	7.4	189.9	1
15	70.5	17.4	319.1	1
16	154.4	5.8	232.8	1
17	130.0	13.0	439.4	1
18	96.4	7.4	185.5	1
19	89.0	6.4	148.2	1
20	134.0	5.2	181.2	1
21	166.7	6.2	268.8	1
22	91.4	7.0	166.3	1
23	157.6	6.6	270.5	1
24	186.9	6.2	301.3	1
25	196.8	5.4	276.3	1
26	102.0	13.8	366.1	1
27	105.5	7.0	192.0	1
28	94.4	6.2	152.1	1
29	147.8	6.0	230.5	1
30	157.6	6.6	270.5	1
31	168.4	16.4	718.0	1

<b>Nomer Data</b>	<b>Arus Maksimum HF (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>	<b>Kategori <i>arcing</i></b>
32	193.5	13.6	684.3	1
33	146.1	28.8	1094.0	2
34	172.4	22.6	1012.8	2
35	119.9	33.8	1053.9	2
36	117.8	20.2	618.8	2
37	122.7	34.8	1110.4	2
38	103.4	33.0	886.8	2
39	151.2	11.6	456.0	2
40	162.6	13.4	566.5	2
41	146.0	30.2	1146.3	2
42	185.0	27.0	1298.9	2
43	158.0	22.2	911.7	2
44	151.4	23.8	937.0	2
45	146.2	13.2	501.8	2
46	191.4	64.0	3185.0	2
47	183.6	51.0	2434.9	2
48	183.2	70.8	3371.7	2
49	182.5	14.9	706.9	2
50	157.4	31.4	1284.9	2
51	147.6	39.2	1504.2	2
52	151.2	21.4	841.0	2
53	159.5	33.4	1385.5	2
54	161.4	44.2	1855.3	2
55	151.9	39.0	1540.6	2
56	130.4	28.2	955.7	2
57	161.2	45.8	1919.3	2
58	158.9	29.0	1198.2	2



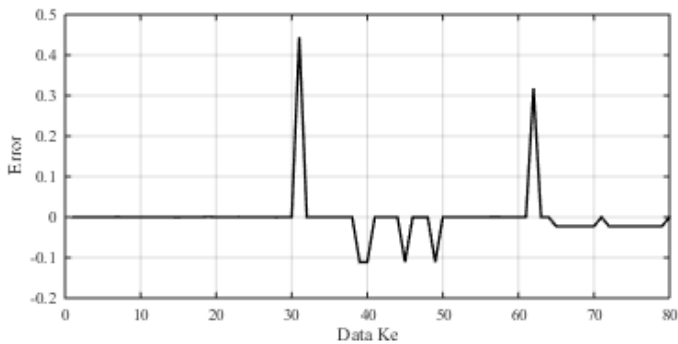
<b>Nomer Data</b>	<b>Arus Maksimum HF (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>	<b>Kategori <i>arcing</i></b>
59	196.8	21.4	1094.8	2
60	153.4	22.4	893.5	2
61	178.1	22.2	1027.7	2
62	144.2	47.4	1777.5	2
63	150.1	38.0	1482.9	2
64	148.8	30.6	1184.0	2
65	151.6	54.2	2136.5	3
66	151.4	52.8	2078.2	3
67	148.5	44.2	1706.8	3
68	150.0	44.0	1716.3	3
69	139.5	45.8	1661.1	3
70	149.6	46.4	1804.7	3
71	153.2	72.6	2892.1	3
72	142.3	46.6	1723.7	3
73	160.9	57.0	2385.0	3
74	147.7	51.6	1981.4	3
75	137.9	50.0	1793.3	3
76	123.9	50.4	1623.4	3
77	154.6	47.6	1913.5	3
78	154.9	42.4	1708.1	3
79	148.6	54.2	2093.5	3
80	139.6	69.6	2525.6	3

Tabel 4.5 menunjukkan data-data parameter yang dilatih pada algoritma ANN. Setelah dilakukan proses *training* akan didapatkan *weight* dan *bias* yang akan digunakan untuk melakukan testing neural network



**Gambar 4.12** Perbandingan data aktual dengan neural network

Gambar 4.12 menunjukkan perfomansi *artificial neural network* dalam pwnwntuan kategori besaran *arcng* hubung singkat yang terdeteksi, dari gambar 12 dapat dilihat bahwa algoritma *artificial neural network* telah mampu untuk mengkategorikan besaran *arcng* hubung singkat yang terjadi dengan *error* yang cukup sedikit untuk lebih jelasnya *error* akan ditampilkan pada gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Nilai error artificial neural network

Gambar 4.13 menunjukkan nilai error pada setiap data yang dilakukan *training*, Algoritma *artificial neural network* pada eksperimen ini menghasilkan nilai error rata sebesar 0.000000001 sehingga sesuai dengan *goal* yang telah ditentukan pada parameter *training artificial neural network*.

#### 4.5.2. *Testing Data artificial neural network*

*Testing* data adalah proses untuk menentukan apakah algoritma *artificial neural network* mampu untuk mengkategorikan *arcing* hubung singkat yang terdeteksi, pada *testing* data dibutuhkan *software* bantuan tambahan yaitu Lazarus yang berfungsi sebagai *graphic user interface* program penentuan kategori besaran *arcing* hubung singkat tegangan rendah. Pada proses *testing* data menggunakan data sebanyak 20% dari data total, sehingga terdapat 20 data *arcing* hubung singkat tegangan rendah sebagai *testing* data.

**Tabel 4.6** Testing Data

No Data	Atus HF Maksimum (A)	Durasi (ms)	Energi (joule)	Target Ketgori	Hasil Kategori ANN
1	75.3	7.8	152.7	1	1
2	177.4	6	276.7	1	1
3	64.2	2.8	46.7	1	1
4	156.4	3.2	130.2	1	1
5	97.7	13.6	345.5	1	1
6	39.3	9.6	98.1	1	1
7	40.2	15	571.2	1	3
8	76.3	28.8	718.1	1	2
9	104.3	29	786.7	2	2
10	105.5	32	828.2	2	2
11	64.1	29.8	496.3	2	2
12	146	30.2	1146.3	2	2
13	156.7	33.4	1360.9	2	2
14	163.9	45.8	1951.6	2	2
15	143.7	34.6	1293.1	2	2
16	157.1	34.2	1396.8	2	2
17	145.1	53.6	2022.1	3	3
18	154.9	53.2	2142.2	3	3
19	154.2	69.2	2773.9	3	3
20	148.1	52.8	2033.1	3	3

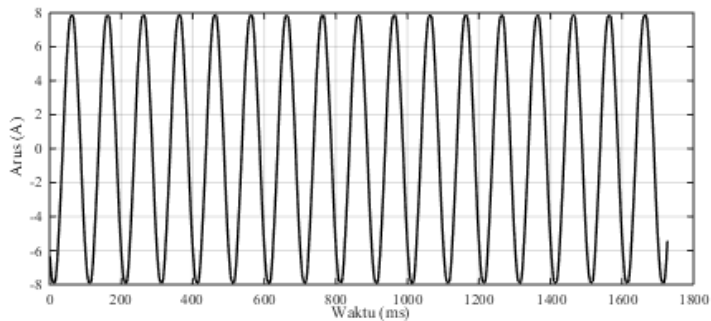
Tabel 4.6 Menunjukkan data yang akan dilakukan *testing* menggunakan *graphic user interface*, target kategori *arcing* hubung singkat, dan hasil target yang ditampilkan. Setelah dilakukan testing sebanyak 20 data didapatkan kesalahan pengkategorian sebanyak 2 data sehingga kebenaran pengkategorian *arcing* hubung singkat tegangan rendah sebesar 90%

#### 4.6. Perbandingan Beban Linier dan Beban Nonlinier

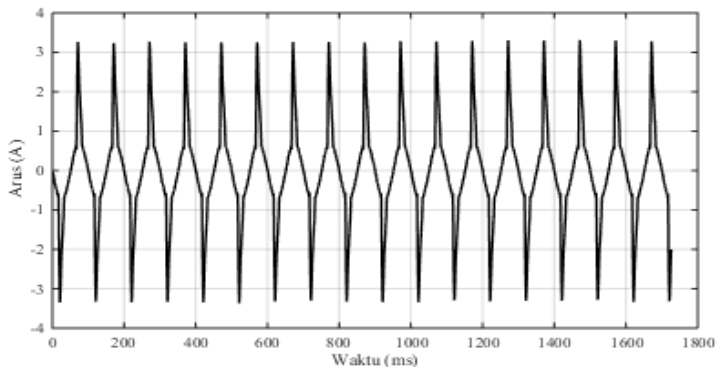
Subbab ini akan menunjukkan perbedaan arus asli dan *high frequency* pada beban linier dan nonlinier dengan keadaan normal dan *arcing* hubung singkat.

##### 4.6.1. Arus Asli dan *High Frequency* Beban Linier dan Nonlinier Keadaan Normal

Beban linier dan beban nonlinier mempunyai bentuk *waveform* arus asli yang sangat berbeda. Beban linier (Gambar 4.14) mempunyai bentuk *waveform* arus asli yang sinusoidal sempurna, sedangkan beban nonlinier (Gambar 4.15) mempunyai bentuk *waveform* arus asli sinusoidal yang tidak sempurna hal ini dikarenakan terdapat proses *switching* pada beban nonlinier, pada penelitian ini beban nonlinier menggunakan lampu hemat energi dengan total daya 102 Watt.



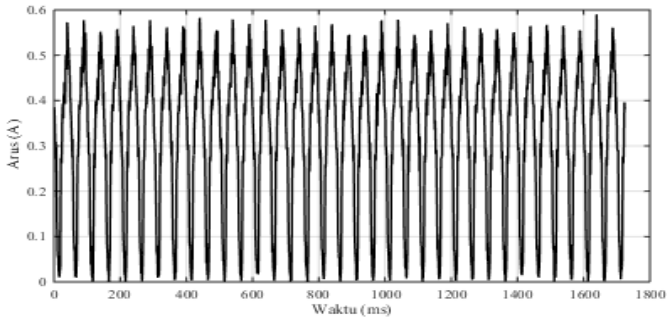
**Gambar 4.14** Waveform arus asli beban linier keadaan normal



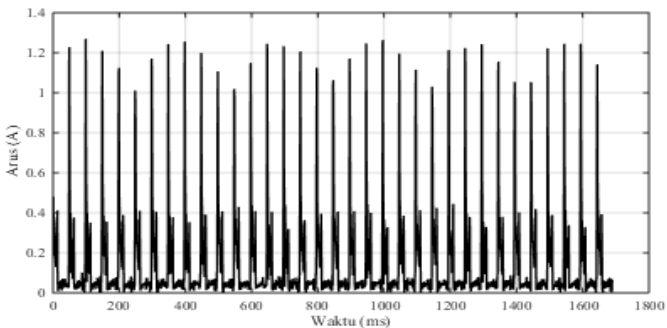
**Gambar 4.15.** Waveform arus asli beban nonlinier keadaan normal

Bentuk *waveform* arus *high frequency* pada beban linier dan nonlinier memiliki perbedaan begitu pula dengan nilai arus pada beban linier dan nonlinier yang memiliki perbedaan. Keadaan normal menunjukkan bahwa nilai puncak arus beban nonlinier lebih tinggi dari pada beban linier (Gambar 4.16) kejadian ini disebabkan karena pada beban nonlinier terdapat mekanisme *switching* sehingga menimbulkan nilai arus yang lebih tinggi dari pada arus HF pada beban linier.

Nilai arus puncak pada beban nonlinier dalam keadaan normal adalah 1,2A (Gambar 4.17). Nilai tersebut belum melebihi *threshold* pendeteksian *arcing* yang pertama yaitu nilai maksimum arus HF 2A, sehingga *threshold* pertama pendeteksian *arcing* dapat digunakan untuk mendeteksi *arcing* pada beban linier dan beban nonlinier.



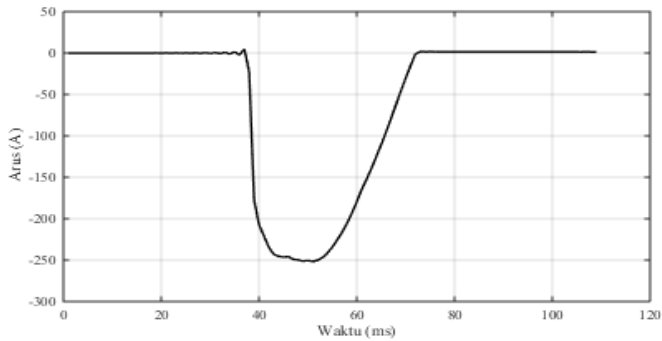
**Gambar 4.16** Waveform arus HF beban linier keadaan normal



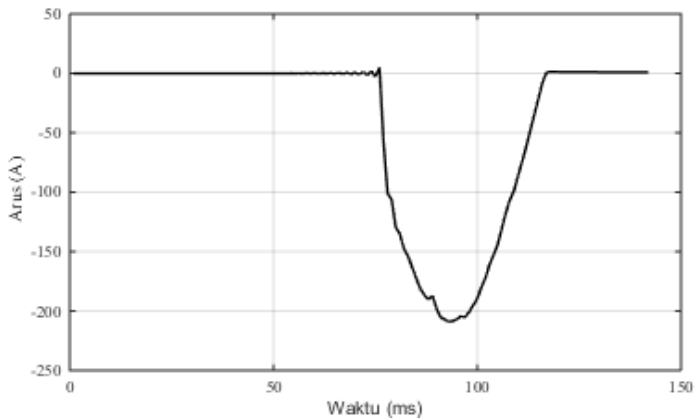
**Gambar 4.17** Waveform arus HF beban nonlinier keadaan normal

#### 4.6.2. Arus Asli dan *High Frequency* Beban Linier dan Nonlinier Keadaan *Arcing*

Beban linier dan beban nonlinier mempunyai karakteristik *arcing* yang mirip yaitu terjadi kenaikan arus yang sangat tinggi pada saat terjadi gangguan hubung singkat dibandingkan dengan arus normal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18 dan gambar 4.19.

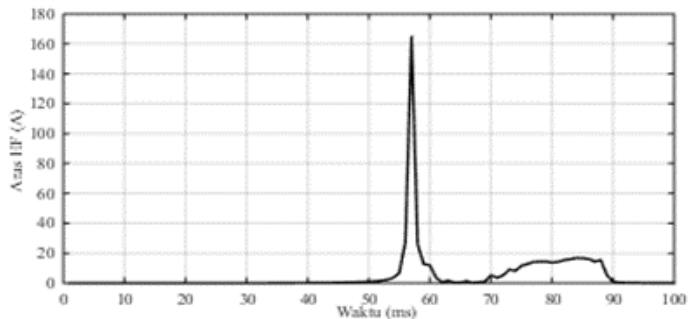


**Gambar 4.18** Waveform arus asli beban linier keadaan *arcing*

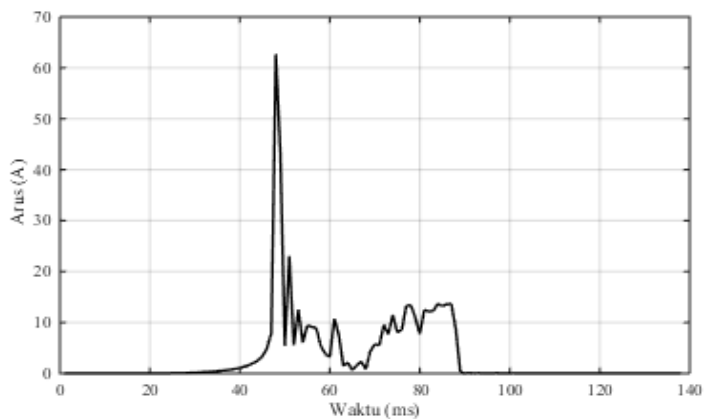


**Gambar 4.19** Waveform arus asli beban nonlinier keadaan *arcing*

Bentuk *waveform* arus *high frequency* beban linier dan nonlinier pada keadaan *arcing* sangat mirip. Lonjakan arus yang terjadi pada saat kondisi *arcing* antara beban linier dan nonlinier juga sangat tinggi dan telah melebihi *threshold* arus HF maksimal 2A seperti ditunjukkan pada gambar



**Gambar 4.20** Waveform arus HF kondisi *arcing* beban linier



**Gambar 4.21** Waveform arus HF kondisi *arcing* beban nonlinier

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari eksperimen deteksi dan pengukuran kategori besaran *arcing* hubung singkat pada tegangan rendah adalah sebagai berikut :

1. Terdapat dua batas (*threshold*) untuk peneteksian *arcing* hubung singkat pada tegangan rendah yaitu batas (*threshold*) arus sebesar 2 A dan terdapat jumlah titik gangguan sebanyak 7 titik
2. Jumlah titik gangguan yang terdeteksi oleh *user interface* menentukan durasi *arcing* yang terjadi, semakin banyak jumlah titik gangguan maka durasi *arcing* hubung singkat akan semakin lama.
3. Jumlah serabut mempengaruhi jumlah titik gangguan yang terjadi semakin banyak jumlah serabut maka jumlah titik gangguan semakin banyak sehingga durasi *arcing* hubung singkat semakin lama
4. Pengkategorian besaran *arcing* hubung singkat berdasarkan jumlah serabut yang terjadi
5. Penentuan kategori besaran *arcing* hubung singkat menggunakan *artificial neural network* mempunyai tingkat kebenaran sebesar 90%.

#### **5.2. Saran**

Eksperimen deteksi dan penentuan kategori besaran *arcing* hubung singkat tegangan rendah telah berhasil mengkategorikan *arcing* hubung singkat tegangan rendah yang terdeteksi dengan *error* yang cukup kecil, selanjutnya dapat dilakukan sinkronisasi dengan peralatan pengaman dengan menggunakan *microcontroller* yang dapat mendeteksi *arcng* dan mengkategorikan *arcing* secara langsung.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. K. R. A and K. P. A, "Detection of Arcing in Low Voltage Distribution Systems," *IEEE Region 10 Colloquium and the Third International Conference on Industrial and Information System*, pp. 1-3, 2008.
- [2] N. F. P. Association, NFPA 70E : Standard for Electrical Safety in the Workplace, NFPA, 2004.
- [3] R. F. Nisa, D. A. Asfani and I. M. Y. Negara, "Analisis Karakteristik Busur Api Listrik Pada Tegangan Rendah Karena Pengaruh Impedansi Saluran Menggunakan Transformasi Haar Wavelet," *Jurnal Teknik Pomits* , vol. 1, 2015.
- [4] T. Penyusun, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), Indonesia, 2000.
- [5] J. M. Martel, M. Anheuser and F. Berger, "A Study if Arcing Fault in the Low Voltage Electrical Installation," *IEEE*, pp. 1-11, 2010.
- [6] T. Gammon and J. Matthews, "The Historical Evolution Arcing Fault Models for Low Voltage Systems," *IEEE*.
- [7] D. Gokhan, E. F. M and W. H. G. Senel, Analysis And Detection of Arcing Faults In Low Voltage Electrical Power Systems, Tennessee USA: Departmen of Electrical Engineering Vanderbilt University Nashville, 1994.
- [8] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2011-2015.
- [9] Y. Wu, Z. Song and X. Li, A Method for Arc Fault Detection Based on the Analysis of Signal's Characteristic Frequency Band with Wavelet Transform, Matsue Japan: IEEE 2nd International Conference on Electric Power Equipment , 2013.

- [10] G. Artale, A. Cataliotti, V. Consentino and G. Privitera, "Experimental Characterization of Series Arc Faults In AC And DC Electrical Circuits," pp. 1015-1020, 2014.
- [11] A. Wicaksono, D. A. Asfani and I. M. Y. Negara, Desain dan Implementasi Peralatan Deteksi Arcing Tegangan Rendah Berbasis LabView, Surabaya: ITS, 2017.
- [12] E. J. Leavline, "Artificial Neural Network Design Flow for Classification Problem Using Matlab," *IJARBEST*, vol. 1, no. 6, pp. 22-25, 2015.

## LAMPIRAN

Data *arcing* hubung singkat tegangan rendah selama eksperimen

Jumlah Serabut	Percobaan ke	Arus HF Maksimum (A)	Durasi (ms)	Energi (Joule)
1	1	165.2	5.6	240.5
1	2	140.1	6.8	247.7
1	3	70.5	6.8	124.7
1	4	41.7	8	86.7
1	5	131.5	6.4	218.8
1	6	119.7	5.2	161.9
1	7	78.5	3	61.2
1	8	116.3	4.4	133.1
1	9	125.9	8.4	274.9
1	10	51.7	7.8	104.9
1	11	101.0	3	78.8
1	12	175.2	6	273.4
1	13	75.3	7.8	152.7
1	14	177.4	6	276.7
1	15	64.2	2.8	46.7
1	16	38.5	1.8	18.0
1	17	156.4	3.2	130.2
1	18	105.5	7	192.0
1	19	94.4	6.2	152.1
1	20	147.8	6	230.5
3	1	125.8	6.8	222.5
3	2	98.7	7.4	189.9
3	3	70.5	17.4	319.1

<b>Jumlah Serabut</b>	<b>Percobaan ke</b>	<b>Arus HF Maksimum (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>
3	4	154.4	5.8	232.8
3	5	130.0	13	439.4
3	6	96.4	7.4	185.5
3	7	89.0	6.4	148.2
3	8	134.0	5.2	181.2
3	9	166.7	6.2	268.8
3	10	91.4	7	166.3
3	11	157.6	6.6	270.5
3	12	97.7	13.6	345.5
3	13	39.3	9.6	98.1
3	14	193.5	13.6	684.3
3	15	186.9	6.2	301.3
3	16	196.8	5.4	276.3
3	17	102.0	13.8	366.1
3	18	40.2	15	156.6
3	19	76.3	28.8	571.2
3	20	168.4	16.4	718.1
6	1	104.3	29	786.7
6	2	105.5	30.2	828.2
6	3	64.1	29.8	496.3
6	4	146.1	28.8	1094.0
6	5	172.4	22.6	1012.8
6	6	119.9	33.8	1053.9
6	7	117.8	20.2	618.8
6	8	122.7	34.8	1110.4
6	9	103.4	33	886.8
6	10	151.2	11.6	456.0

<b>Jumlah Serabut</b>	<b>Percobaan ke</b>	<b>Arus HF Maksimum (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>
6	11	162.6	13.4	566.5
6	12	146.0	30.2	1146.3
6	13	185.0	27	1298.9
6	14	158.0	22.2	911.7
6	15	151.4	23.8	937.0
6	16	146.2	13.2	501.8
6	17	196.8	21.4	1094.8
6	18	153.4	22.4	893.5
6	19	178.1	22.2	1027.7
6	20	140.6	28.4	1038.0
12	1	191.4	64	3185.0
12	2	183.6	51	2434.9
12	3	183.2	70.8	3371.7
12	4	182.5	14.9	706.9
12	5	157.4	31.4	1284.9
12	6	147.6	39.2	1504.2
12	7	151.2	21.4	841.0
12	8	159.5	33.4	1385.5
12	9	161.4	44.2	1855.3
12	10	151.9	39	1540.6
12	11	130.4	28.2	955.7
12	12	161.2	45.8	1919.3
12	13	158.9	29	1198.2
12	14	144.2	47.4	1777.5
12	15	150.1	38	1482.9
12	16	148.8	30.6	1184.0
12	17	156.7	33.4	1360.9

<b>Jumlah Serabut</b>	<b>Percobaan ke</b>	<b>Arus HF Maksimum (A)</b>	<b>Durasi (ms)</b>	<b>Energi (Joule)</b>
12	18	163.9	45.8	1951.6
12	19	143.7	34.6	1293.1
12	20	157.1	34.2	1396.8
24	1	151.6	54.2	2136.5
24	2	151.4	52.8	2078.2
24	3	148.5	44.2	1706.8
24	4	150.0	44	1716.3
24	5	139.5	45.8	1661.1
24	6	145.1	53.6	2022.1
24	7	153.2	72.6	2892.1
24	8	148.1	52.8	2033.1
24	9	160.9	57	2385.0
24	10	147.7	51.6	1981.4
24	11	137.9	50	1793.3
24	12	123.9	50.4	1623.4
24	13	154.6	47.6	1913.5
24	14	154.9	42.4	1708.1
24	15	148.6	54.2	2093.5
24	16	139.6	69.6	2525.6
24	17	149.6	46.4	1804.7
24	18	154.9	53.2	2142.2
24	19	154.2	69.2	2773.9
24	20	142.3	46.6	1723.7

## **RIWAYAT HIDUP PENULIS**



Nama lengkap Muhammad Wildan Arinal Haq. Penulis yang akrab disapa Wildan lahir di Solo pada tanggal 29 Oktober 1995. Penulis hidup sederhana bersama orang tua dan satu kakak perempuan di Kabupaten Sukoharjo. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak Islam Aisyah di Surakarta lalu pendidikan tingkat dasar di SD Al Islam 2 Surakarta lalu ,pendidikan tingkat menengah di SMP Al Islam 1 Surakarta, lalu pendidikan tingkat lanjut di SMA Negeri 3 Surakarta dan sekarang pendidikan tingkat tinggi di Jurusan Teknik Elektro ITS. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi dan kepanitiaan, seperti : Kepala Biro Relasi dan Jaringan Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Periode 2015/2016, IC Gerigi ITS 2015 dan, National Economic Symposium 2015. Penulis juga aktif di bidang keilmiahan seperti Program Kreativitas Mahasiswa.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*